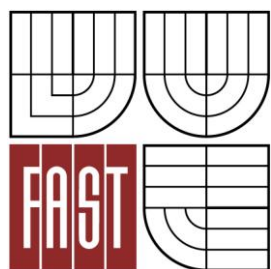




VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA STAVEBNÍ
ÚSTAV TECHNICKÝCH ZAŘÍZENÍ BUDOV

FACULTY OF CIVIL ENGINEERING
INSTITUTE OF BUILDING SERVICES

ENERGETICKÁ NÁROČNOST ADMINISTRATIVNÍ BUDOVY

ENERGY PERFORMANCE OF THE ADMINISTRATIVE BUILDING

DIPLOMOVÁ PRÁCE
DIPLOMA THESIS

AUTOR PRÁCE
AUTHOR

BC. TOMÁŠ PŘÍBORSKÝ

VEDOUCÍ PRÁCE
SUPERVISOR

Ing. LUCIE VENDLOVÁ, Ph.D.

BRNO 2015



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ FAKULTA STAVEBNÍ

Studijní program	N3607 Stavební inženýrství
Typ studijního programu	Navazující magisterský studijní program s prezenční formou studia
Studijní obor	3608T001 Pozemní stavby
Pracoviště	Ústav technických zařízení budov

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

Diplomant	Bc. Tomáš Příborský
Název	Energetická náročnost administrativní budovy
Vedoucí diplomové práce	Ing. Lucie Vendlová, Ph.D.
Datum zadání diplomové práce	19. 3. 2014
Datum odevzdání diplomové práce	16. 1. 2015
V Brně dne 19. 3. 2014	

.....
doc. Ing. Jiří Hirš, CSc.
Vedoucí ústavu

.....
prof. Ing. Rostislav Drochytka, CSc., MBA
Děkan Fakulty stavební VUT

Abstrakt

V první části se práce zabývá možnostmi energetického posouzení budov, možnostmi využití termokamery ve stavebnictví a využití softwaru pro stanovení energetické náročnosti budov.

Druhou část tvoří energetické posouzení administrativní budově firmy NEPA v Brně s využitím metod energetického auditu s návrhem a posouzením variant možných úprav.

Ve třetí části je provedeno zpracování technického řešení vybrané varianty.

Klíčová slova

Energetické posouzení budov, energetický audit, termokamera, termografie

Abstract

First part of this thesis describes possibilities of energy assessment of buildings, possibilities of using thermal imaging camera in civil engineering and using software solutions of energy assessment of buildings.

Second part engages an energy assessment of administrative building of NEPA company in Brno and designs possibilities of improvements.

Third part contains description of technical solution of the best improvement possibility.

Keywords

energy assessment of buildings, energetic audit, thermal imaging camera, thermography

Bibliografická citace VŠKP

Bc. Tomáš Příborský *Energetická náročnost administrativní budovy*. Brno, 2015. 112 s., 53 s. příl. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Ústav technických zařízení budov. Vedoucí práce Ing. Lucie Vendlová, Ph.D.

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci zpracoval samostatně a že jsem uvedl všechny použité informační zdroje.

V Brně dne 12. 1. 2015

.....

podpis autora

Bc. Tomáš Příborský

Poděkování

Zde bych chtěl poděkovat vedoucí mé diplomové práce Ing. Lucii Vendlové, Ph.D. za její podporu při zpracování práce, její vstřícný přístup a trpělivost. Také bych chtěl poděkovat rodičům za podporu během studia.

Obsah

Abstrakt.....	3
Klíčová slova	3
Prohlášení	5
Poděkování	6
Obsah	7
A. Analýza tématu, cíle a metody řešení	11
1.1 Úvod	11
1.2 Analýza tématu, normové a legislativní podklady	11
1.3 Cíl práce, zvolené metody řešení.....	12
1.4 Teoretické řešení.....	13
1.4.1 Stupeň energetické náročnosti SEN	13
1.4.2 Stupeň tepelné náročnosti STN	14
1.4.3 Energetický štítek obálky budovy na základě faktoru CI.....	14
1.4.4 Energetický průkaz budovy	15
1.4.5 Průkaz energetické náročnosti budov	15
1.4.6 Energetický audit	17
1.4.7 Aktuální technická řešení v praxi	35
1.5 Experimentální řešení - termografie	37
1.5.1 Stefanův-Boltzmannův zákon.....	37
1.5.2 Wienův posunovací zákon.....	37

1.5.3 Planckův vyzařovací zákon	38
1.5.4 Termografie	39
1.5.5 Snímané vlnové délky, jasové teploty	39
1.5.6 Snímání	40
1.5.7 Podmínky pro snímání	41
1.5.8 Faktory ovlivňující měření	42
1.5.9 Využití termovize ve stavebnictví	44
1.5.10 Snímání prosklených povrchů	46
1.6 Softwarové řešení	47
B. Aplikace tématu na zadané budově.....	48
2.1 Popis řešeného objektu	48
2.1.1 Stavební řešení.....	48
2.1.2 Energetické systémy budovy	50
2.1.3 Užívání budovy.....	50
2.1.4 Energetická náročnost budovy.....	51
2.2 Energetický audit	52
2.2.1 Identifikační údaje	53
2.2.2 Popis stávajícího stavu předmětu energetického auditu	54
2.2.3 Vyhodnocení stávajícího stavu předmětu energetického auditu	61
2.2.4 Návrhy opatření ke zvýšení účinnosti užití energie.....	64
2.2.5 Varianty z návrhu jednotlivých opatření	64

2.2.6 Výběr optimální varianty	71
2.2.7 Doporučení energetického specialisty oprávněného zpracovat energetický audit	72
2.2.8 Evidenční list energetického auditu	73
2.3 Experimentální posouzení budovy	80
2.3.1 Podmínky měření:	80
2.3.2 Výsledky a vyhodnocení měření	82
2.3.3 Celkové vyhodnocení snímků	92
C. Technické řešení vybrané varianty	93
3.1 Popis zvolené varianty	93
3.2.1 Použité materiály:	95
3.2.2 Pracovní podmínky:	95
3.2.3 Stroje a pomůcky:	96
3.2.4 Technologický postup	96
3.2.5 Bezpečnost a ochrana zdraví	97
3.2.6 Ekologie	97
Závěr	98
Seznam použitých zdrojů	100
Seznam použitých obrázků	103
Seznam použitých tabulek	105
Seznam použitých zkratek	107

Seznam příloh	112
---------------------	-----

A. ANALÝZA TÉMATU, CÍLE A METODY ŘEŠENÍ

1.1 Úvod

Se stoupajícím počtem obyvatel naší planety i se zvyšováním životní úrovně ve světě narůstají energetické nároky lidstva. Ovšem většina energie využívané člověkem pochází z neobnovitelných zdrojů, jako je ropa, zemní plyn a uhlí. Jejich zásoby nejsou nekonečné, a proto se přední světové mocnosti a mnohé organizace zabývají myšlenkami, jak snížit jejich spotřebu a zefektivnit jejich využití.

Ideální by bylo nahrazování obnovitelnými zdroji, jako je vodní, větrná, solární, geotermální energie nebo biomasa. Získávání energie z těchto zdrojů nezatěžuje tolik životní prostředí, ovšem dosud je finančně náročné, při současné spotřebě nedokáže pokrýt poptávku a navíc ne všude jsou vhodné podmínky pro využívání těchto zdrojů. Podporováno je v současnosti ve vyspělých zemích, které kladou stále větší důraz na ekologii a životní prostředí i za cenu vyšší finanční náročnosti. Pro masovější rozšíření ve světě by bylo vhodné zaměřit se na vývoj efektivnějšího získávání energie z obnovitelných zdrojů, které by snížilo její cenu, ovšem za současných podmínek i přes ekologický přínos nejsou obnovitelné zdroje finančně dost lákavé.

Další možnou cestou je snižování energetických nároků obyvatel naší planety. Opět především ve vyspělých zemích se odborníci zabývají otázkami, jak snížit spotřebu energie na dopravu, svícení, vytápění a v dalších oblastech. To vede k zavádění legislativních kroků, které například omezují maximální příkon elektrických spotřebičů, udávají emisní limity pro automobily, které nutí jejich výrobce snižovat spotřebu fosilních paliv, a v neposlední řadě upravují předpisy ve stavebnictví s cílem snížení energetické náročnosti budov.

1.2 Analýza tématu, normové a legislativní podklady

Zásoby energetických zdrojů naší planety jsou omezené, počet obyvatel neustále roste a navíc roste spotřeba energie v přepočtu na obyvatele. V roce 2000 činila světová spotřeba energie 9,356 Gtoe (toe – tuna ropného ekvivalentu, 1 toe = 41868kJ), v roce

2011 již 12,275 Gtoe. (1) Dle studie WETO-H2 by do roku 2050 mohla tato hodnota dosáhnout až 22 Gtoe. (2) S rostoucí poptávkou po energii také stoupá její cena. S energiemi je proto nutno nakládat promyšleně. Uvědomují si to nejen odborníci, ale také nejrozličnější státy i nadnárodní organizace. Ty postupně prosazují do legislativy doporučující i závazné předpisy, které vedou ke snižování spotřeby energie, využívání obnovitelných zdrojů, vývoj energetický méně náročných forem dopravy, prosazování efektivnějších, a tím úspornějších, spotřebičů a v neposlední řadě snižování emisí skleníkových plynů a dalších nebezpečných látek. Významnou roli v této oblasti sehrála Rámcová úmluva OSN o změně klimatu, sepsaná v roce 1992, která vedla k přijetí Kjótského protokolu v roce 1997. Ten udává emisní limity skleníkových plynů a snížení emisí o 5,2 %.

V České republice se stal významným milníkem vstup do Evropské unie v roce 2004, s nímž souviselo postupné sjednocování české legislativy s evropskými předpisy. Asi nejvýznamnějším předpisem pro stavebnictví z hlediska energetiky je zákon č. 406/2000 Sb. o hospodaření energií. Od svého vzniku byl již několikrát upraven, poslední novelizace proběhla zákonem č. 310/2013 Sb. Prováděcí předpis tohoto zákona tvoří vyhláška č. 78/2013 Sb. o energetické náročnosti budov, která nahrazuje vyhlášku č. 148/2007 Sb. Pro energetické hodnocení budov je významná rovněž vyhláška 268/2009 Sb. o technických požadavcích na stavby (změna 20/2012 Sb.), která odkazuje na požadavky normy ČSN 73 0540-2 Tepelná ochrana budov. Další důležitou vyhláškou je č. 480/2012 Sb. o energetickém auditu a energetickém posudku. Vybraným předpisům se budu více věnovat níže.

1.3 Cíl práce, zvolené metody řešení

Úkolem této práce je nastínit možnosti energetického posouzení budov v souladu s platnou legislativou a stanovení energetické náročnosti budov s využitím metod energetického auditu a s použitím termokamery.

V teoretické části bych chtěl rozebrat jednotlivé možnosti energetického posouzení budov v souladu s aktuální legislativou, postup stanovení energetické náročnosti budov na základě fyzikálních dějů, možnosti využití termokamery ve

stavebnictví a při určování tepelných ztrát a využití softwaru pro stanovení energetické náročnosti budov.

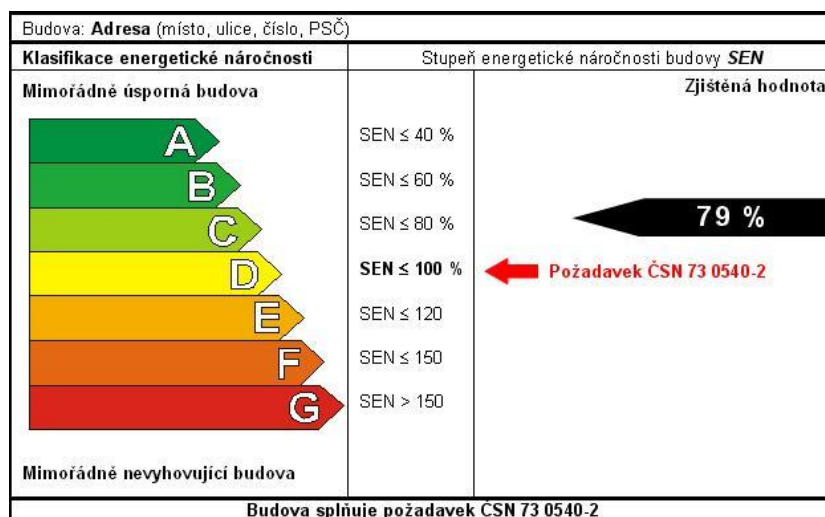
V druhé části se získané poznatky uplatní na energetickém posouzení administrativní budově firmy NEPA v Brně s využitím metod energetického auditu s návrhem a posouzením 4 variant možných úprav. Dále budou vyhodnoceny snímky z termografického měření budovy.

Ve třetí části bude provedeno zpracování technického řešení vybrané varianty.

1.4 Teoretické řešení

1.4.1 Stupeň energetické náročnosti SEN


Možnost vyjádření a porovnání potřeby tepla na vytápění byla zavedena verzí normy ČSN 73 0540-2 Tepelná ochrana budov z roku 2002, která zavedla stupeň energetické náročnosti SEN. Jedná se o procentuální měrné množství tepla na vytápění v porovnání s jeho normovou hodnotou.



Obrázek 1 - Ukázka štítku Stupeň energetické náročnosti SEN (3)

1.4.2 Stupeň tepelné náročnosti STN

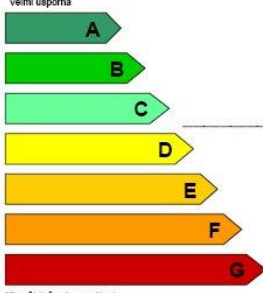
Novelizací této normy v roce 2005 byl zaveden stupeň tepelné náročnosti STN. Ten porovnává součinitel prostupu tepla budovy U s doporučenými (U_N), případně požadovanými hodnotami ($U_{em,N}$).

Budova: Adresa (místo, ulice, číslo, PSČ)		
Klasifikace tepelné náročnosti	Stupeň tepelné náročnosti budovy STN	
Mimořádně úsporná budova		Zjištěná hodnota
A	STN ≤ 40%	 Úsporná 75%
B	STN ≤ 60%	
C	STN ≤ 80%	
D	STN ≤ 100%	
E	STN ≤ 120%	
F	STN ≤ 150%	
G	STN > 150%	
Mimořádně nevyhovující budova		
Budova splňuje požadavek ČSN 75 0540-2		

Obrázek 2 - Ukázka štítku Stupeň tepelné náročnosti STN (4)

1.4.3 Energetický štítek obálky budovy na základě faktoru CI

Další úpravou této normy v roce 2007 se zavádí klasifikační ukazatel CI, který rovněž vychází z průměrného součinitele prostupu tepla budovy U_{em} a z porovnání s požadovanými hodnotami ($U_{em,rq}$). Graficky je znázorněn na Energetickém štítku obálky budovy.

ENERGETICKÝ ŠTÍTEK OBÁLKY BUDOVY							
Typ budovy, místní označení Adresa budovy		Hodnocení obálky budovy					
Celková podlahová plocha A_{p} = m ²		stávající	doporučení				
Cf Ve velmi úsporná 		Cf_k	Cf_v				
Mimořádné nehošpodárna							
Průměrný součinitel prostupu tepla obálky budovy U_{en} ve W/(m ² ·K)		X	Y				
Klasifikační ukazatele Cf a jím odpovídající hodnoty U_{en} pro A/V = m ³ /m ²							
Cf	0,30	0,60	(0,75)	1,00	1,50	2,00	2,50
U_{en}							
Platnost štítku do		Datum					
Štítek vypracoval		Jméno a příjmení					
		Klasifikace					

Obrázek 3 - Energetický štítek obálky budovy (5)

1.4.4 Energetický průkaz budovy

Prováděcí vyhláška č. 291/2001 Sb. k zákonu č. 406/2000 Sb. zavedla do praxe Energetický průkaz budovy. Jedná se o metodiku rychlého výpočtu měrných potřeb tepla na vytápění v kWh/m² (kWh/m³).

Tato řešení ovšem uvažují pouze s energií na vytápění, respektive s tepelnými ztrátami objektu. Neuvažují další energetické výdaje na provoz budov, jako je svícení, chlazení, elektrické spotřebiče apod. Proto se od nich také už upustilo.

1.4.5 Průkaz energetické náročnosti budov

Průkaz energetické náročnosti budov komplexně hodnotí budovu po stránce spotřeby energie. Zpracovává se dle vyhlášky č. 78/2013 Sb. o energetické náročnosti budov, která nahrazuje vyhlášku č. 148/2007 Sb. Tato vyhláška stanovuje optimální požadavky na energetickou náročnost budovy, metodu výpočtu energetické náročnosti budovy, vzor posouzení proveditelnosti alternativních systémů dodávek energie z hlediska technického, ekonomického a ekologického, vzor stanovení doporučených opatření pro snížení energetické náročnosti budovy a vzor průkazu energetické náročnosti budov.

V souvislosti s přijetím zákona č. 318/2012 Sb., který novelizoval zákon č. 406/2000 Sb. o hospodaření energií, se stalo aktuálním tématem energetické hodnocení budov. Tato novela významně rozšiřuje okruh budov, na něž se vztahuje povinnost zpracovat průkaz energetické náročnosti budov:

- Od 1. ledna 2013: Při prodeji budovy nebo její ucelené části (např. bytu) a při pronájmu domu.
- Od 1. července 2013: Budovy užívané orgány veřejné moci (např. krajské, městské a obecní úřady, budovy Policie ČR, městské policie, hasičů, soudy) s celkovou energeticky vztažnou plochou (CEVP) větší než 500 m².
- Od 1. ledna 2015: Stávající bytové domy nebo administrativní budovy s CEVP větší než 1 500 m².
- Od 1. července 2015: Budovy užívané orgány veřejné moci s CEVP větší než 250 m².
- Od 1. ledna 2016: Při pronájmu ucelené části budovy (bytu, nebytového prostoru) včetně družstevních domů.
- Od 1. ledna 2017: Stávající bytové domy nebo administrativní budovy s CEVP větší než 1 000 m².
- Od 1. ledna 2019: Stávající bytové domy nebo administrativní budovy s CEVP menší než 1 000 m².
- Od 1. ledna 2019: Stávající rodinné domy s CEVP menší než 350 m². (6)

Ukazatele energetické náročnosti budovy jsou:

- a) celková primární energie za rok
- b) neobnovitelná primární energie za rok
- c) celková dodaná energie za rok
- d) dílčí dodané energie pro systémy vytápění, chlazení, větrání, úpravu vlhkosti vzduchu, přípravu TV a osvětlení za rok
- e) průměrný součinitel prostupu tepla
- f) součinitele prostupu tepla jednotlivých konstrukcí na systémové hranici
- g) účinnost technických systémů.

Hodnoty ukazatelů energetické náročnosti se stanoví pro hodnocenou budovu a porovnají se s hodnotami referenční budovy. Referenční budova je výpočtově definovaná budova téhož druhu, stejného geometrického tvaru a velikosti včetně prosklených ploch a částí, stejné orientace ke světovým stranám, stínění okolní zástavbou a přírodními překážkami stejného vnitřního uspořádání se stejným typem typického užívání a klimatických údajů jako hodnocená budova, avšak s referenčními hodnotami vlastností budovy, jejích konstrukcí a technických systémů budovy. (7)

Pro porovnání se jednotlivé ukazatel zařazují do klasifikačních tříd. Hranice jednotlivých tříd se stanoví jako násobky referenční hodnoty jednotlivých ukazatelů.

UKAZATELE ENERGETICKÉ NÁROČNOSTI BUDOVY							
	Obálka budovy	Vytápění	Chlazení	Větrání	Úprava vlhkosti	Teplá voda	Osvětlení
	U_{em} W/(m ² ·K)	Dílčí dodané energie					
		Měrné hodnoty kWh/(m ² ·rok)					
Mimořádně úsporná							
A	Dop.			Dop.		Dop.	
B			Dop.			XX	XX Dop.
C	X,XX		XX				
D		Dop.		XX			
E		XX			Dop.		
F					XX		
G							
Mimořádně neúsporná							
Hodnoty pro celou budovu MWh/rok		XX,X	XX,X	XX,X	XX,X	XX,X	XX,X

Obrázek 4 - Vzor zařazení ukazatelů energetické náročnosti budovy (7)

1.4.6 Energetický audit

Průkaz energetické náročnosti budov objekty hodnotí po energetické stránce, ale pro návrh optimální varianty energeticky úsporných opatření se zpracovává energetický audit. Energetický audit je komplexní zhodnocení budovy vzhledem ke všem využívaným formám energií (elektřina, plyn, teplo, voda), jejích stavebních konstrukcí

i k používaným technickým zařízením budov. Obsahuje i návrh úsporných opatření, posouzení jednotlivých variant, výběr nejvhodnější možnosti a ekonomickou rozvahu pro tato opatření.

Obsah a rozsah energetického auditu stanovuje vyhláška 480/2012 Sb. o energetickém auditu a energetickém posudku. Povinně musí energetický audit zajistit v souladu se zákonem č. 406/2000 Sb. o hospodaření energií, ve znění pozdějších předpisů, vlastníci budov, stavebník či společenství vlastníků jednotek u zařízení, kde jejich celková roční energetická spotřeba na všech odběrných místech (provozovaných pod jedním identifikačním číslem) převyšuje následující stanovené hranice:

- 1 500 GJ/rok v případě organizačních složek státu, krajů, obcí a příspěvkových organizací
- 35 000 GJ/rok pro ostatní právnické a fyzické osoby, např. bytová družstva, sdružení vlastníků, firmy.

Energetický audit se pak musí daná osoba zpracovávat pouze u těch budov nebo energetických hospodářství, jejichž celková spotřeba je vyšší než 700 GJ/rok.

Energetický audit je také často podmínkou pro získání dotací např. na rekonstrukci budovy.

Zpracování energetického auditu může po absolvování příslušného přezkoušení provádět pouze energetický auditor s osvědčením Ministerstva průmyslu a obchodu (MPO). (6)

Obsah energetického auditu

Energetický audit dle vyhlášky 480/2012 Sb. obsahuje:

- a) titulní list
- b) identifikační údaje
- c) popis stávajícího stavu předmětu energetického auditu
- d) vyhodnocení stávajícího stavu předmětu energetického auditu
- e) návrhy opatření ke zvýšení účinnosti užití energie

- f) varianty z návrhu jednotlivých opatření
- g) výběr optimální varianty
- h) doporučení energetického specialisty oprávněného zpracovat energetický audit
- i) evidenční list energetického auditu
- j) kopii dokladu o vydání oprávnění podle § 10b zákona 406/2000 Sb. o hospodaření energií, ve znění pozdějších předpisů.

Energetická bilance

V rámci této práce bude zpracován energetický audit zadané budovy v souladu s platnými právními předpisy s využitím fyzikální podstaty dějů.

Celková roční dodaná energie se stanoví ze vztahu:

$$Q_{fuel} = \sum_c (Q_{f,H,c} + Q_{f,C,c} + Q_{f,RH,c} + Q_{f,W,c}) + Q_{f,A} + Q_{f,L} - Q_{PV,E} - Q_{CHP,E}$$

kde je:

Q_{fuel} - celková dodaná energie na systémové hranici budovy [GJ/rok]

$Q_{f,H,c}$ - roční dodaná energie na vytápění pro každý energonositel c [GJ/rok]

$Q_{f,C,c}$ - roční dodaná energie na chlazení pro každý energonositel c [GJ/rok]

$Q_{f,RH,c}$ - roční dodaná energie na zvlhčování pro každý energonositel c [GJ/rok]

$Q_{f,W,c}$ - roční dodaná energie na přípravu teplé vody energonositele c [GJ/rok]

$Q_{fuel,A}$ - roční dodaná pomocná energie [GJ/rok]

$Q_{fuel,L}$ - roční dodaná energie na osvětlení [GJ/rok]

$Q_{PV,E}$ - roční výroba elektřiny z fotovoltaických článků [GJ/rok]

$Q_{CHP,E}$ - roční množství vyrobené elektřiny z KVET [GJ/rok]

Stanovení tepelných ztrát

Celkový tepelný tok prostupem tepla se pro každou zónu stanoví ze vztahu:

$$Q_T = \sum_i (H_{T,i} \cdot (\theta_i - \theta_{e,i})) \cdot t$$

kde:

Q_T - celkový tepelný tok prostupem tepla [GJ]

$H_{T,i}$ - měrný tepelný tok prostupem tepla konstrukcí i přilehlé k prostoru(ům), prostředí nebo zóně(ám) s teplotou $\theta_{e,i}$, [W/K]

θ_i - vnitřní výpočtová teplota v budově nebo v zóně budovy, [°C]

$\theta_{e,i}$ - teplota přilehlého prostoru, prostředí nebo zóny ke konstrukci i, [°C]

t – doba trvání výpočtového období [Gs]

Měrný tepelný tok prostupem tepla $H_{T,i}$ určíme:

$$H_{T,i} = (H_{T,ie} + H_{T,iue} + H_{T,ig} + H_{T,ij})$$

kde:

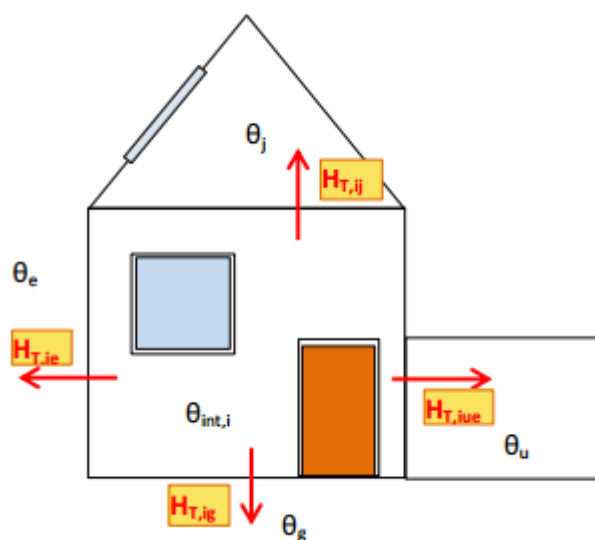
$H_{T,i}$ - měrný tepelný tok prostupem tepla [W/K]

$H_{T,ie}$ – měrná tepelná ztráta z vytápěného prostoru do venkovního prostředí přes obvodový plášť budovy [W/K]

$H_{T,iue}$ – měrná tepelná ztráta z vytápěného prostoru do venkovního prostředí přes nevytápěný prostor [W/K]

$H_{T,ig}$ – měrná tepelná ztráta z vytápěného prostoru do zeminy [W/K]

$H_{T,ij}$ – měrná tepelná ztráta z vytápěného prostoru do vedlejších vytápěných prostor s výrazně odlišnou teplotou [W/K]



Obrázek 5 - Tepelný tok z vytápěné oblasti (8)

Měrná tepelná ztráta z vytápěného prostoru do venkovního prostředí $H_{T,ie}$ se stanoví:

$$H_{T,ie} = \sum A_k \cdot U_{kc} \cdot e_k$$

kde

$H_{T,ie}$ – měrná tepelná ztráta z vytápěného prostoru do venkovního prostředí přes obvodový plášť budovy [W/K]

A_k – plocha konstrukce [m²]

e_k – korekční součinitel zahrnující klimatické vlivy (obvykle = 1)

U_{kc} – součinitel prostupu tepla dané konstrukce se zahrnutím vlivu tepelných mostů [W/(m²·K)]

Součinitel U_{kc} stanovíme:

$$U_{kc} = U_k + \Delta U_{t_{bm}}$$

kde:

U_{kc} – součinitel prostupu tepla dané konstrukce se zahrnutím vlivu tepelných mostů [$W/(m^2 \cdot K)$]

U_k – součinitel prostupu tepla dané konstrukce bez zahrnutí vlivu tepelných mostů [$W/(m^2 \cdot K)$]

$\Delta U_{t_{bm}}$ – korekce součinitele prostupu tepla dle ČSN 730540-4, nabývá hodnot:

0,02 konstrukce téměř bez tepelných mostů (projektový předpoklad)

0,05 konstrukce s mírnými tepelnými mosty

0,10 konstrukce s běžnými tepelnými mosty

Součinitel prostupu tepla U_k se vypočítá z tepelných odporů:

$$U = \frac{1}{R_T}$$

kde:

U_k - součinitel prostupu tepla [$W/(m^2 \cdot K)$]

R_T - tepelný odpor konstrukce [$m^2 \cdot K/W$]

Tepelný odpor konstrukce R_T [$\text{m}^2 \cdot \text{K/W}$] (podle ČSN EN ISO 6946) se stanoví následovně:

$$R_T = R_{si} + \sum R_j + R_{se}$$

$$R_j = \frac{d_j}{\lambda_j}$$

kde

R_T - tepelný odpor konstrukce [$\text{m}^2 \cdot \text{K/W}$]

R_j - tepelný odpor jednotlivých vrstev [$\text{m}^2 \cdot \text{K/W}$]

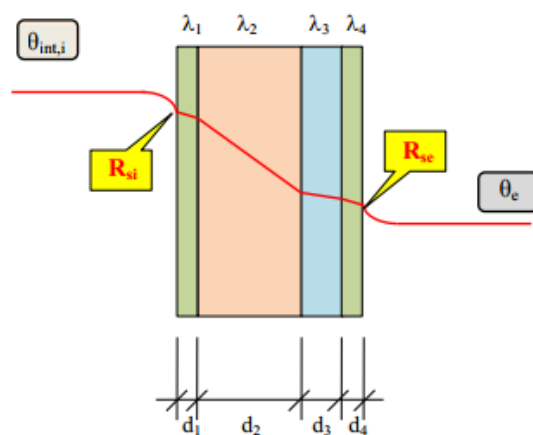
d_j - tloušťka vrstvy v konstrukci [m]

λ_j - výpočtová tepelná vodivost materiálu z tabulek normy ČSN 73 0540
nebo

z podkladů výrobce [$\text{W/m} \cdot \text{K}$]

R_{si} - tepelný odpor při přestupu tepla z vnitřního prostředí do konstrukce [$\text{m}^2 \cdot \text{K/W}$]

R_{se} - tepelný odpor při přestupu tepla z konstrukce do vnějšího prostředí [$\text{m}^2 \cdot \text{K/W}$]



Obrázek 6 - Tepelný odpor konstrukce (8)

Měrná tepelná ztráta z vytápěného prostoru do venkovního prostředí přes nevytápěný prostor $H_{T,iue}$ se stanoví dle rovnice:

$$H_{T,iue} = \sum A_k \cdot U_{kc} \cdot b_u$$

kde

$H_{T,iue}$ – měrná tepelná ztráta z vytápěného prostoru do venkovního prostředí přes nevytápěný prostor [W/K]

A_k – plocha konstrukce [m²]

b_u – redukční činitel teploty zahrnující rozdíl mezi teplotou nevytápěného prostoru a teplotou venkovního prostředí, stanoví se následovně:

$$b_u = \frac{\theta_{int,i} - \theta_u}{\theta_{int,i} - \theta_e}$$

kde:

$\theta_{int,i}$ – vnitřní návrhová teplota vytápěného prostoru [°C]

θ_e – vnější návrhová teplota [°C]

θ_u – teplota nevytápěného prostoru [°C]

Měrná tepelná ztráta z vytápěného prostoru do zeminy $H_{T,ig}$ se určí dle vztahu:

$$H_{T,ig} = f_{g1} \cdot f_{g2} \cdot \left(\sum A_k \cdot U_{equiv,k} \right) \cdot G_w$$

kde:

$H_{T,ig}$ – měrná tepelná ztráta z vytápěného prostoru do zeminy [W/K]

f_{g1} – korekční činitel zahrnující vliv ročního kolísání venkovní teploty ($f_{g1} = 1,45$)

f_{g2} – korekční činitel zahrnující rozdíl mezi průměrnou roční teplotou $\theta_{m,e}$ a návrhovou vnější teplotou θ_e , stanovuje se dle vztahu:

$$f_{g2} = \frac{\theta_{int,i} - \theta_{m,e}}{\theta_{int,i} - \theta_e}$$

kde:

$\theta_{int,i}$ – vnitřní návrhová teplota vytápěného prostoru [°C]

θ_e – vnější návrhová teplota [°C]

$\theta_{m,e}$ – průměrná roční teplota [°C]

A_k – plocha konstrukce ve styku se zeminou [m²]

G_w – korekční činitel zahrnující vliv hladiny podzemní vody

$G_w = 1$ pro hladinu podzemní vody více než 1 m pod podlahou

$G_w = 1,15$ pro hladinu podzemní vody méně než 1 m pod podlahou

$U_{equiv,k}$ – ekvivalentní součinitel prostupu tepla [W/(m²·K)], závisící na součiniteli prostupu tepla podlahy U_{podl} (nebo stěny U_{st}) a parametru B' , jež se stanoví dle vztahu:

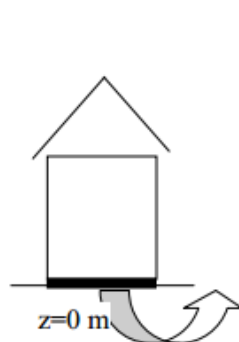
$$B' = \frac{A_g}{0,5 \cdot P}$$

kde:

A_g – plocha podlahové desky [m²]

P – ochlazovaný obvod podlahové desky [m]

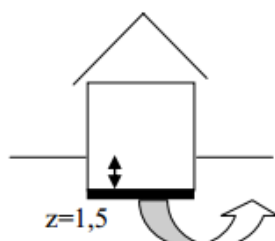
$U_{equiv,k}$ lze určit interpolací z následujících tabulek:



$U_{\text{equiv,bf}}$ pro podlahu na terénu

B'	$U_{\text{equiv,bf}}$ $W/m^2 K$				
	neizolovaná	$U_{\text{podl}} = 2,0$	$U_{\text{podl}} = 1,0$	$U_{\text{podl}} = 0,5$	$U_{\text{podl}} = 0,25$
2	1,30	0,77	0,55	0,33	0,17
4	0,88	0,59	0,45	0,30	0,17
6	0,68	0,48	0,38	0,27	0,17
8	0,55	0,41	0,33	0,25	0,16
10	0,47	0,36	0,30	0,23	0,15
12	0,41	0,32	0,27	0,21	0,14
14	0,37	0,29	0,24	0,19	0,14
16	0,33	0,26	0,22	0,18	0,13
18	0,31	0,24	0,21	0,17	0,12
20	0,28	0,22	0,19	0,16	0,12

Obrázek 7 - Tabulka $U_{\text{equiv,k 1}}$ (8)



$U_{\text{equiv,bf}}$ pro podlahu 1,5 m pod terénem

B'	$U_{\text{equiv,bf}}$ $W/m^2 K$				
	neizolovaná	$U_{\text{podl}} = 2,0$	$U_{\text{podl}} = 1,0$	$U_{\text{podl}} = 0,5$	$U_{\text{podl}} = 0,25$
2	0,86	0,58	0,44	0,28	0,16
4	0,64	0,48	0,38	0,26	0,16
6	0,52	0,40	0,33	0,25	0,15
8	0,44	0,35	0,29	0,23	0,15
10	0,38	0,31	0,26	0,21	0,14
12	0,34	0,28	0,24	0,19	0,14
14	0,30	0,25	0,22	0,18	0,13
16	0,28	0,23	0,20	0,17	0,12
18	0,25	0,22	0,19	0,16	0,12
20	0,24	0,20	0,18	0,15	0,11

Obrázek 8 - Tabulka $U_{\text{equiv,k 2}}$ (8)

$U_{\text{equiv,bf}}$ pro podlahu 3 m pod terénem

B'	$U_{\text{equiv,bf}}$ $W/m^2 K$				
	neizolovaná	$U_{\text{podl}} = 2,0$	$U_{\text{podl}} = 1,0$	$U_{\text{podl}} = 0,5$	$U_{\text{podl}} = 0,25$
2	0,63	0,46	0,35	0,24	0,14
4	0,51	0,40	0,33	0,24	0,14
6	0,43	0,35	0,29	0,22	0,14
8	0,37	0,31	0,26	0,21	0,14
10	0,32	0,27	0,24	0,19	0,13
12	0,29	0,25	0,22	0,18	0,13
14	0,26	0,23	0,20	0,17	0,12
16	0,24	0,21	0,19	0,16	0,12
18	0,22	0,20	0,18	0,15	0,11
20	0,21	0,18	0,16	0,14	0,11

Obrázek 9 - Tabulka $U_{\text{equiv,k 3}}$ (8)

$U_{\text{equiv,bw}}$ pro stěny pod terénem

$U_{\text{st}}^{\text{st}} \text{ [W/m}^2 \text{ K]}$	$U_{\text{equiv,bw}} \text{ W/m}^2 \text{ K}$			
	$z = 0 \text{ m}$	$z = 1 \text{ m}$	$z = 2 \text{ m}$	$z = 3 \text{ m}$
0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
0,50	0,44	0,39	0,35	0,32
0,75	0,63	0,54	0,48	0,43
1,00	0,81	0,68	0,59	0,53
1,25	0,98	0,81	0,69	0,61
1,50	1,14	0,92	0,78	0,68
1,75	1,28	1,02	0,85	0,74
2,00	1,42	1,11	0,92	0,79
2,25	1,55	1,19	0,98	0,84
2,50	1,67	1,27	1,04	0,88
2,75	1,78	1,34	1,09	0,92
3,00	1,89	1,41	1,13	0,96

Obrázek 10 - Tabulka $U_{\text{equiv,k}}$ 4 (8)

Měrná tepelná ztráta z vytápěného prostoru do vedlejších vytápěných prostor s výrazně odlišnou teplotou $H_{T,ij}$ se stanoví dle vztahu:

$$H_{T,ij} = \sum A_k \cdot U_{kc} \cdot b_{ij}$$

kde

$H_{T,ij}$ – měrná tepelná ztráta z vytápěného prostoru do vedlejších vytápěných prostor s výrazně odlišnou teplotou [W/K]

A_k – plocha konstrukce [m^2]

b_{ij} – redukční činitel teploty zahrnující rozdíl mezi teplotou sousedního vytápěného prostoru a teplotou venkovního prostředí, stanoví se následovně:

$$b_{ij} = \frac{\theta_{\text{int},i} - \theta_j}{\theta_{\text{int},i} - \theta_e}$$

kde:

$\theta_{\text{int},i}$ – vnitřní návrhová teplota vytápěného prostoru [$^{\circ}\text{C}$]

θ_e – vnější návrhová teplota [$^{\circ}\text{C}$]

θ_j – teplota sousedního vytápěného prostoru [°C] (8)

Celkový tepelný tok větráním se pro každou zónu budovy z a každé výpočtové období n stanoví ze vztahu:

$$Q_V = \sum_i (H_{V,i} \cdot (\theta_i - \theta_{e,i})) \cdot t$$

kde:

Q_V - celkový tepelný tok větráním [GJ]

$H_{V,i}$ - měrný tepelný tok větráním konstrukcí i k přilehlému prostoru(ům), prostředí nebo zóně(ám) s teplotou $\theta_{s,i}$ [W/K]

θ_i - vnitřní výpočtová teplota v budově nebo v zóně budovy [°C]

$\theta_{e,i}$ - výpočtová venkovní teplota proudu vzduchu vstupujícího do budovy nebo do zóny budovy větráním nebo infiltrací, [°C]

t - trvání výpočtového období [Gs]

Měrný tepelný tok větráním se stanoví podle vztahu:

$$H_{V,i} = b \cdot f_{vent} \cdot \rho_a \cdot c_a \cdot V_{V,i}$$

kde:

$H_{V,i}$ - měrný tepelný tok větráním [W/K]

$V_{V,i}$ - objemový tok vzduchu do prostoru [m³/s]

ρ_a - hustota vzduchu [kg/m³]

c_a - měrná tepelná kapacita vzduchu [kJ/(kg·K)]

f_{vent} - opravný součinitel pro případ, že výměna vzduchu konstrukcí i probíhá jen, pokud je budova užívána [-]

b - redukční činitel pro nevytápěné prostory [-] Činitel se určuje pouze v případech, pokud je zóna provětrávána vzduchem z přilehlé neklimatizované zóny.

Stanovení tepelných zisků

Celkové tepelné zisky Q_G se pro každou zónu budovy z a každé výpočtové období n stanoví ze vztahu:

$$Q_G = Q_i + Q_S$$

kde:

Q_G - celkové tepelné zisky [GJ]

Q_i - součet vnitřních tepelných zisků za dané výpočtové období [GJ]

Q_S - součet slunečních tepelných zisků za dané výpočtové období [GJ]

Vnitřní tepelné zisky tvoří zisky od:

- metabolického tepla uživatelů a obyvatelů budovy
- tepelného výkonu spotřebičů
- osvětlovacích zařízení.

Pro každou zónu budovy z , každé výpočtové období n a všechny vnitřní zdroje tepla k v hodnocené klimatizované zóně a vnitřní zdroje tepla l v přilehlé neklimatizované zóně (index U, angl. unconditioned) se tepelné zisky z vnitřních zdrojů tepla stanoví ze vztahu:

$$Q_i = \sum_k Q_{i,k} + \sum_k ((1 - b_l) \cdot Q_{i,u,l})$$

kde:

Q_i - součet všech vnitřních tepelných zisků během hodnoceného měsíce nebo období [GJ]

$Q_{i,k}$ - teplo ze zdroje vnitřních tepelných zisků k v hodnocené klimatizované zóně během hodnoceného měsíce nebo období [GJ]

$Q_{i,u,l}$ - teplo ze zdroje vnitřních tepelných zisků l v přilehlém neklimatizovaném prostoru, během hodnoceného měsíce nebo období [GJ]

b_l - redukční činitel pro přilehlý neklimatizovaný prostor se zdrojem vnitřních tepelných zisků l [-] stanovený podle příslušných technických norem.

Teplo ze zdroje vnitřních tepelných zisků $Q_{i,k}$ se stanoví ze vztahu:

$$Q_{i,k} = (\Phi_{OCC,mean} + \Phi_{A,mean} + \Phi_{L,mean}) \cdot t_{use}$$

kde je:

Φ_i - součet všech průměrných tepelných výkonů z vnitřních tep. zdrojů [W]

$\Phi_{OCC,mean}$ - průměrný tepelný výkon od osob [W]

$\Phi_{A,mean}$ - průměrný tepelný výkon od spotřebičů [W]

$\Phi_{L,mean}$ - průměrný tepelný výkon od osvětlení [W]

t_{use} - délka období, kdy je zóna v užívání [Gs].

Obdobně se stanoví teplo ze zdroje vnitřních tepelných zisků $Q_{i,u,l}$ v přilehlém neklimatizovaném prostoru.

Solární tepelné zisky

Sluneční zisky průsvitnými částmi budovy jsou dány orientací, souborem vlastností (propustnost slunečního záření - g) a celkovou sběrnou plochou daného prvku. Dále jsou solární zisky závislé na časově proměnlivých faktorech - klimatických podmínkách a pozici slunce. Výpočty jsou prováděny podle příslušných technických norem.

Solární zisky stanoví ze vztahu:

$$Q_s = Q_{s,k} + \sum_j \left((1 - b_l) \cdot Q_{s,u,l} \right) + \sum_s Q_{s,s}$$

kde je:

$$Q_{s,k} = \sum_k [I_{s,k} \cdot F_{s,o,k} \cdot A_{s,k}]$$

$$Q_{s,u,l} = \sum_j [I_{s,l} \cdot F_{s,o,l} \cdot A_{s,l}]_u$$

kde je:

Q_s - součet slunečních tepelných zisků během posuzovaného měsíce nebo období, zahrnující také působení slunečních tepelných zisků i v přilehlém neklimatizovaném prostoru [GJ]

$Q_{s,k}$ - součet slunečních tepelných zisků během posuzovaného měsíce nebo období v samotné posuzované klimatizované zóně [GJ]

$Q_{s,u,l}$ - součet slunečních tepelných zisků během posuzovaného měsíce nebo období v přilehlém neklimatizovaném prostoru l [GJ]

b_l - redukční činitel pro přilehlé neklimatizované prostory l se slunečními tepelnými zisky $Q_{s,u,l}$ [-]

$Q_{s,s}$ - součet slunečních tepelných zisků během posuzovaného měsíce nebo období v přilehlých zimních zahradách, které ústí do zóny z [GJ], stanoví se podle příslušných technických norem

$F_{s,o,k}$ - korekční činitel stínění účinné sol. sběrné plochy od vnějších překážek [-]

$F_{s,o,l}$ - korekční činitel stínění účinné solární sběrné plochy od vnějších překážek pro sluneční tepelné zisky v přilehlých neklimatizovaných prostorech l [-]

$A_{s,k}$ - účinná solární sběrná plocha s určenou orientací a sklonem v posuzované klimatizované zóně z [m²]

$A_{s,l}$ - účinná solární sběrná plocha s určenou orientací a sklonem pro sluneční tepelné zisky v přilehlých neklimatizovaných prostorech l [m^2]

$I_{s,k}$ - celková dopadající energie slunečního záření během výpočtového období na m^2 sběrné plochy k , s danou orientací a sklonem [MJ/m^2]

$I_{s,l}$ - celková dopadající energie slunečního záření během výpočtového období na m^2 sběrné plochy v přilehlém neklimatizovaném prostoru l [MJ/m^2]

Časová konstanta budovy v otopném a chladicím režimu

Časová konstanta budovy v otopném režimu:

$$\tau_H = \frac{C_m}{3,6} / H_H$$

kde je:

τ_H - časová konstanta budovy nebo zóny budovy z v otopném režimu [hod]

C_m - vnitřní tep. kapacita budovy [kJ/K], stanovena zjednodušeně podle tab. 1.1

H_H - měrný tepelný tok budovy v otopném režimu [W/K]

Tabulka č. 1.1 - Vnitřní tepelná kapacita pro vybrané konstrukce

Vnitřní tepelná kapacita budovy	C_m
Konstrukce lehká – měrná hmotnost do 600 kg/m^3	180
Konstrukce střední – měrná hmotnost $> 600 \text{ kg/m}^3$	324
Konstrukce těžká – měrná hmotnost $> 1000 \text{ kg/m}^3$	468

Časová konstanta v chladicím režimu

$$\tau_C = \frac{C_m}{3,6} / H_C$$

kde je:

τ_C - časová konstanta budovy nebo zóny budovy z v chladicím režimu [hod]

C_m - vnitřní tep. kapacita budovy [kJ/K], stanovena zjednodušeně podle tab. 12

H_C - měrný tepelný tok budovy v chladicím režimu [W/K]

Potřeba energie na přípravu teplé vody

Potřeba energie na přípravu teplé vody se stanoví ze vztahu:

$$Q_{DHW} = V_{DHW} \cdot \rho_w \cdot c_w \cdot (\theta_{DHW,h} - \theta_{DHW,c})$$

kde je:

Q_{DHW} - potřeba energie na přípravu teplé vody v budově [GJ/rok]

V_{DHW} - roční spotřeba teplé vody [m³/rok], výpočet dle příslušných tech. norem

ρ_w - hustota vody [kg/m³]

c_w - měrná tepelná kapacita vody [J/(kg·K)]

$\theta_{DHW,h}$ - teplota teplé vody [°C]

$\theta_{DHW,c}$ - teplota studené vody [°C]

Potřeba energie na osvětlení

Dodaná energie na osvětlení je stanovena ze vztahu:

$$Q_{f,L} = \Phi_{LI} \cdot t$$

kde je:

$Q_{f,L}$ - dodaná energie na osvětlení v období [GJ]

Φ_{LI} - průměrný příkon elektřiny na osvětlení [W]

t - trvání výpočtového období [Gs]

Dodaná pomocná energie

Dodaná pomocná energie zahrnuje pouze elektrickou energii. Roční dodaná pomocná energie se stanoví ze vztahu:

$$Q_{fuel,A} = Q_{Aux,H} + Q_{Aux,C} + Q_{Aux,DHW} + Q_{Aux,Fans}$$

kde:

$Q_{fuel,A}$ - roční dodaná pomocná energie, (GJ/rok);

$Q_{Aux,H}$ - potřeba pomocné energie na vytápění [GJ]

$Q_{Aux,C}$ - spotřeba pomocné energie na chlazení [GJ]

$Q_{Aux,DHW}$ - spotřeba pomocné energie na přípravu teplé vody [GJ]

$Q_{Aux,Fans}$ - spotřeba pomocné energie na mechanické větrání [GJ]

Produkce energie objektu

Produkce energie objektu se uvažuje v případě, že jsou instalovány solární systémy pro získání tepelné nebo elektrické energie, případně pokud je v objektu instalována kogenerační jednotka pro kombinovanou výrobu elektřiny a tepla.

Produkce solárních systémů závisí na instalované ploše solárních panelů, jejich umístění a účinnosti systému. Lze stanovit ze vztahu:

$$Q_{sol} = A \cdot I_{sol} \cdot f \cdot \eta$$

kde:

Q_{sol} – energetická produkce solárních systémů [GJ]

A – plocha solárních panelů [m²]

I_{sol} – množství dopadající sluneční energie [GJ/ m²]

f – korekční faktor stínění [-]

η – účinnost systému [-]

Produkce kogenerační jednotky se určí jako násobek roční produkce elektrické energie jednotky a účinnosti výroby. (9)

1.4.7 Aktuální technická řešení v praxi

Pro snížení tepelných ztrát i pro snížení spotřeby energie se v současnosti používají mnohá řešení. Liší se svým rozsahem (a s ním související cenou) a efektivitou využití vynaložených prostředků (vyjádřenou obvykle návratností investice). Zpravidla se jedná o kombinaci více opatření, které mají za cíl co největší energetické úspory.

Mezi možné řešení patří **zateplení obálky budovy**. Energie prostupující obálkou budovy se většinou řadí mezi ty nejvýznamnější tepelné ztráty objektu. Obvykle se používají vnější systémy zateplení, které neomezují provoz budovy při instalaci, eliminují tepelné mosty stávajících konstrukcí a nezmenšují vnitřní prostor v místnostech. Vnitřní systémy se používají např. u historických budov, protože nemají vliv na architektonický ráz budovy. Vzniká zde ale větší riziko kondenzace vlhkosti, nedokážou eliminovat tepelné mosty a mají i další nevýhody, proto se používají omezeně.

U střech záleží na typu střechy. U plochých střech se používá většinou kladení izolačního materiálu na povrch střechy s následným řešením hydroizolace. U šikmých střech se obvykle přidává izolace pod konstrukci střechy, případně lze zaizolovat strop nad vytápěnou zónou.

Další možností je výměna **oken a dveří**. Moderní výplně otvorů mají při splnění současných normových požadavků i několikanásobně nižší součinitel prostupu tepla než konstrukce používané v minulosti. Navíc mají mnohem nižší vzduchovou propustnost spár, tudíž omezují tepelné ztráty větráním. Je zde ale nutno splnit základní hygienické výměny vzduchu v interiéru, tudíž může být nízká propustnost spár i kontraproduktivní.

Výměna zdroje energie může rovněž výrazně omezit její spotřebu. Moderní zdroje mají vyšší účinnost, původní zdroje také často nebývají v dobrém technickém stavu. Úsporu energie lze dosáhnout také vhodnou **regulací** zdroje. V případě, že je podlahová plocha objektu větší než 1000 m², posuzuje se u auditu rovněž možnost využití obnovitelných zdrojů energie.

Úspor lze dosáhnout mnoha dalšími způsoby, např. izolací rozvodů, osazení úsporných zdrojů světla, instalací energeticky méně náročných spotřebičů apod.

Stanovit vhodné řešení pro vybraný objekt není jednoduché. Žádná možnost není univerzální a nedá se použít na každou stavbu. Je třeba posoudit vždy konkrétní případ a stanovit možná řešení z hlediska technického i ekonomického.

1.5 Experimentální řešení - termografie

Každý předmět ve vesmíru vyzařuje energii. Jedná se o elektromagnetické záření, jehož intenzita je závislá na povrchové teplotě daného předmětu. Pokud tedy zjistíme intenzitu tohoto záření, můžeme určit povrchovou teplotu předmětu.

1.5.1 Stefanův-Boltzmannův zákon

Tepelné záření těles popisuje tzv. Stefanův-Boltzmannův zákon publikovaný roku 1879 Ludwigem Boltzmannem a Josefem Stefanem. Tento zákon říká, že intenzita vyzařování roste se čtvrtou mocninou termodynamické teploty zářícího tělesa.

$$I = \sigma T^4$$

kde:

I – celková intenzita záření [$\text{W} \cdot \text{m}^{-2}$]

σ - Stefanova-Boltzmannova konstanta ($\sigma = 5,670400 \cdot 10^{-8} \text{ W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-4}$)

T – termodynamická teplota [K] (10)

1.5.2 Wienův posunovací zákon

Stefanův-Boltzmannův zákon udává pouze celkovou vyzářenou energii, nikoli rozložení této energie do jednotlivých vlnových délek. Se zvyšující teplotou se mění nejen celková intenzita záření, ale i jeho spektrální rozložení. Tuto závislost popisuje Wienův posunovací zákon, který udává, že v záření absolutně černého tělesa je maximální energie vyzařována na vlnové délce, která se s rostoucí teplotou snižuje (tj. čím teplejší je těleso, tím vyzařuje na kratších vlnových délkách):

$$\lambda_{\max} = \frac{b}{T}$$

kde:

λ_{\max} - vlnová délka maxima vyzařování [μm]

T - termodynamická teplota tělesa [K]

b - Wienova konstanta ($b = 2898 \mu\text{m} \cdot \text{K}$).

Tento zákon formuloval v roce 1893 Wilhelm Wien. Jeho vztah ovšem udává pouze vlnovou délku, kde těleso vyzařuje maximum záření, neříká nic o intenzitě vyzařování mimo toto maximum. (11)

1.5.3 Planckův vyzařovací zákon

Intenzitu záření černého tělesa v celém spektrálním rozsahu popisuje Planckův vyzařovací zákon z roku 1900. Udává závislost intenzity záření I absolutně černého tělesa na frekvenci ω

$$dI = \frac{\hbar}{4\pi^2 c^2} \frac{\omega^3}{e^{\frac{\hbar\omega}{kT}} - 1} d\omega$$

kde

ω - úhlová frekvence záření [s^{-1}]

I - intenzita záření [$\text{W} \cdot \text{m}^{-2}$]

T - teplota černého tělesa [K]

c - rychlost světla ve vakuu ($c = 299\,792\,458 \text{ m/s}$)

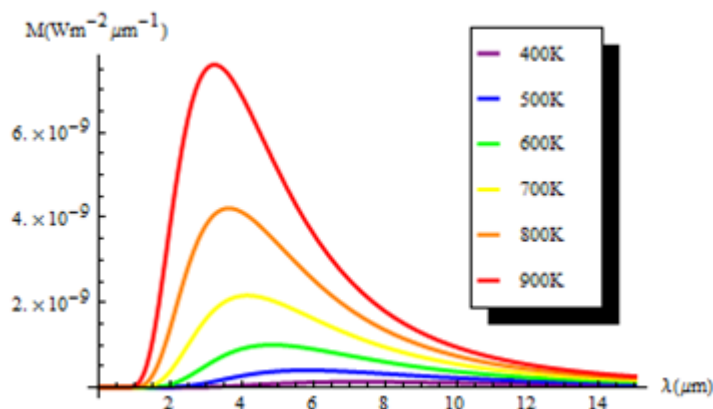
k - Boltzmannova konstanta ($k = 1,380\,6488 \cdot 10^{-23} \text{ J} \cdot \text{K}^{-1}$)

\hbar - redukovaná Planckova konstanta

$$\hbar = \frac{h}{2\pi} = 1,054571628 \cdot 10^{-34} \text{ J} \cdot \text{s}$$

kde h – Planckova konstanta. (12)

Pro různé teploty platí různé průběhy závislosti intenzity záření na vlnové délce, viz následující obrázek:



Obrázek 11 - Závislosti intenzity záření na vlnové délce (13)

1.5.4 Termografie

Závislosti mezi povrchovou teplotou tělesa a intenzitou záření využívá termografie, což je vědní obor zabývající se analýzou teplotního pole povrchu tělesa. Na základě vyhodnocení infračerveného záření vydávaného povrchem tělesa určuje rozložení jeho teplotního pole. Jedná se o bezdotykovou metodu určování teplot.

Ke stanovení teplot tělesa se používají infračervené kamery (termovizní kamery, termokamery), které snímají infračervené záření a převádí je (vizualizují) na viditelné spektrum. Výsledkem této vizualizace je termogram, což je infračervený snímek, na němž je různým teplotám přiřazena příslušná barva viditelného spektra. Lze použít různá barevná schémata, nejčastěji se používají stupně šedi, barvy duhy nebo barvy žhavého železa. Může se ale použít jakékoli barevné schéma (paleta barev). Ke každému termogramu se přiřazuje stupnice, která popisuje příslušnost jednotlivých barev k teplotám. Tato stupnice může být podle potřeby spojitá nebo intervalová.

1.5.5 Snímané vlnové délky, jasové teploty

Termogram zachycuje tzv. jasové teploty jednotlivých částí tělesa, což jsou teploty, které by mělo černé těleso sálající na kameru stejným tepelným tokem jako snímáný objekt v daném intervalu vlnových délek. Infračervené spektrum obsahuje

vlnové délky 750 nm - 1 mm, což je v porovnání s klasickým viditelným spektrem až 2700 krát větší oblast. Pro praktický výzkum jsou však nejčastěji využívány čtyři oblasti:

- 0,75 μm – 1,4 μm (Near-InfraRed - NIR)
- 1,4 μm – 3 μm (Short Wave InfraRed - SWIR)
- 3 μm – 5,5 μm (Middle Wave InfraRed - MWIR)
- 7,5 μm – 15 μm (Long Wave InfraRed - LWIR).

Obecně lze říci, že klasické nechlazené termokamery, používané hlavně v oblastech průmyslu či stavebnictví, pokrývají svým měřením pouze jednu z hlavních oblastí infračerveného spektra, tzv. dlouhé vlny LWIR. (14)

Skutečné povrchové teploty se liší od jasových teplot, protože zohledňují sálání okolních předmětů. Ty mohou mít značný vliv na skutečnou teplotu snímaného objektu. Záření se může od předmětu odrazit, může je pohltit nebo jím může projít. Příslušné podíly záření se nazývají reflektance (odrazivost), absorptance (pohltivost) a transmitance (propustnost). U pevných látek se dá propustnost prakticky vždy zanedbat, uvažujeme tedy pouze odrazivost a pohltivost, jejichž součet je vždy 1. Pohltivost je totožná s emisivitou, což je schopnost tělesa vydávat záření. Nabývá hodnot od 0 do 1. (15)

Z jasových teplot se poté dopočítávají skutečné teploty. Některé termokamery je umí odhadovat automaticky, ovšem jsou případy, kdy je tento odhad značně nepřesný. Pomocí termokamery je možné zjišťovat pouze teplotu povrchu objektů, nelze měřit vnitřní teplotu ani tělesa v pozadí.

1.5.6 Snímání

Na rozdíl od běžných fotoaparátů je snímání tepelného toku složitější, protože na záznamovou matici termokamery září kromě zaznamenávané scény také vnitřní část objektivu kamery. Aby nedocházelo k ovlivnění měření, je nutno před pořízením snímku krátce objektiv zakrýt závěrkou o známé teplotě, k čemuž slouží kalibrační tlačítko (některé kamery provádí kalibraci automaticky).

Samotný převod infračerveného záření na viditelné spektrum je tajemstvím jednotlivých výrobců termokamer.

Některé kamery jsou vybaveny digitálním fotoaparátem, který k infračervenému snímku může pořídit i běžnou fotografii snímaného objektu. Spárované snímky slouží například k interpretaci infračervených snímků pořízených ve dne, radiometrickému vyhodnocení snímků nebo vyznačení oblasti snímané termokamerou.

1.5.7 Podmínky pro snímání

Pořizování infračervených snímků stavebních konstrukcí je vhodné při dostatečném rozdílu teplot mezi interiérem a exteriérem. Minimální rozdíl je cca 10 °C, optimální 15 °C a více. Obecně platí, že vyšší je rozdíl těchto hodnot, tím je snímek přesnější.

Termovizní měření budov s klasickým tepelným tokem je vhodné provádět v zimním období, kdy teplota okolí nepřekračuje 5 °C. Naopak termovizní měření budov s obráceným tepelným tokem (např. chladírny) je vhodné provádět v letním období, resp. od dubna do října, kdy teplota okolí překračuje 15 °C. Podmínkou je, že budovy jsou v provozu, tedy vytápěny či chlazeny.

Měl by se omezit také vliv okolí. Teploty okolních objektů by měly být ustálené a měření by nemělo být ovlivněno slunečním zářením. Z těchto důvodů je vhodné pořizovat termovizní snímky v brzkých ranních či v pozdních nočních hodinách, kdy měření není ovlivněno akumulovanou sluneční energií v konstrukcích.

Termovizní měření ve venkovním prostředí se neprovádí za husté mlhy, v hustém dešti či sněžení.

Optimální podmínky pro snímání

- stabilní klimatické podmínky
- zatažená obloha bez přímého slunečního záření i před měřením
- bez srážek
- suché a volně přístupné plochy měřeného objektu
- bez proudění vzduchu
- minimální rozdíl teplot 10 °C, doporučený rozdíl teplot min. 15 °C
- bez rušivého záření v okolí měřeného objektu (16)

1.5.8 Faktory ovlivňující měření

Emisivita materiálu

Emisivita je poměr tepelného záření vydaného měřeným materiálem v porovnání s černým tělesem. Nabývá hodnot od 0 do 1. Emisivita může záviset mimo jiné na vlnové délce a drsnosti povrchu tělesa (zejména u kovů). Většina materiálů používaných ve stavebnictví (omítky, cihly, dřevo, kámen, sklo...) má vysokou emisivitu (okolo 0,9), například beton má ale hodnoty v rozmezí 0,5 – 0,8 a leštěné kovové povrchy mají jen 0,1.

Nepříliš významný je v oblasti dlouhých vln rozdíl mezi jednotlivými barvami povrchů, i když lze zaznamenat rozdíly na termogramu vlivem sálání okolních předmětů.

Emisivitu materiálu lze určit porovnáním s povrchem o známé emisivitě. K tomu právě slouží kalibrace termokamery.

Teplota okolního prostředí, okolních objektů

Teplota okolí má vliv na vyhodnocení absolutních hodnot povrchových teplot měřeného objektu. Rozdíly mezi jednotlivými body snímku ale rostávají stejné. Různé teploty okolních objektů ale mohou ovlivnit rozložení jednotlivých teplot na snímku.

Například u nižších pater budovy bývá zjištěna vyšší teplota povrchu díky sálání okolních objektů, u vyšších podlaží je povrchová teplota nižší.

Proudění vzduchu

Proudění vzduchu má vliv na přestup tepla do okolí. Se zvýšenou rychlostí proudění se zvyšuje i přestup tepla a s ním i povrchová teplota konstrukce. Proudící vzduch také může přenášet teplo mezi jednotlivými částmi konstrukce. Vzduch je ohříván u teplejších povrchů (osluněná fasáda, okna, dveře...) a stoupá vzhůru, kde se hromadí zejména u vodorovných konstrukcí (přesah střechy, nadpraží oken či dveří). Tyto konstrukce mohou být lokálně ohřívány a na snímku vykazují vyšší teploty, než odpovídá prostu tepla konstrukcí. Tyto anomálie je třeba zohlednit při vyhodnocení snímku.

Rozlišení termokamery a vzdálenost od měřeného objektu

Počet zobrazovaných bodů (pixelů) na snímku a vzdálenost termokamery od objektu mohou rovněž významně ovlivnit zaznamenané povrchové teploty. Čím vyšší rozlišení kamery nebo čím menší vzdálenost, tím menší plocha měřeného objektu připadá na jeden pixel. Termokamera pro každý pixel zaznamená jeho průměrnou povrchovou teplotu, proto čím je menší plocha odpovídající jednomu pixelu, tím získáme přesnější rozložení teplot a také nedochází ke snížení extrémních hodnot zjištěných teplot.

V praxi se používají termokamery s rozlišením 320 x 240 nebo 640 x 480.

Úhel snímání

Emisivita záření závisí mimo jiné i na úhlu vyzařování. Nejvyšší hodnoty má ve směru kolmém na povrch tělesa, se zvyšujícím odklonem od kolmice vyzařování klesá, čímž klesá zdánlivá teplota měřeného povrchu. V ideálních podmínkách získáme nejpresnější hodnoty při snímání kolmo na měřený povrch, to ale v praxi není často možné. U rozsáhlých povrchů bychom museli pořizovat snímky z velké vzdálenosti, což

nám ale často znemožní okolní objekty, a rovněž se vzdáleností klesá přesnost snímku. V praxi lze považovat emisivitu za konstantní do odklonu 45 – 60 ° od kolmice.

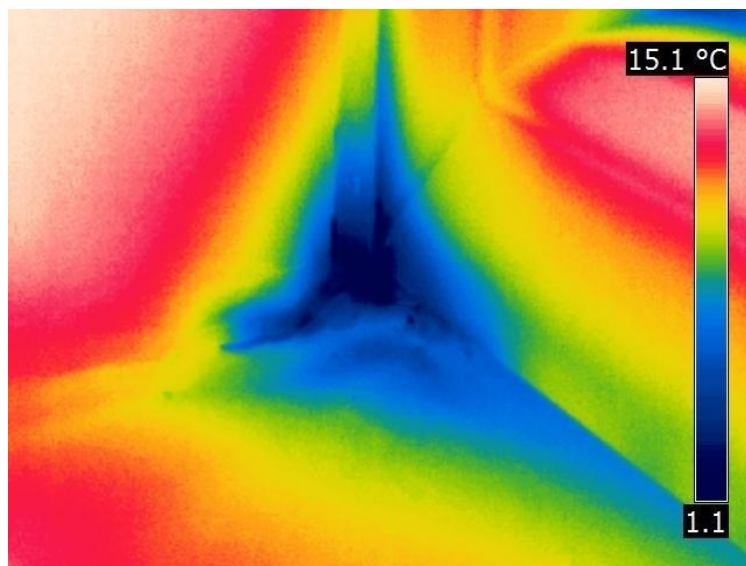
Při záběru rohů místností je rovněž důležité, aby byly obě stěny snímány pod stejným úhlem. Jinak by nebyly naměřené teploty obou stěn adekvátně porovnatelné.

Rozsah teplot na snímku

Zvolením vhodného teplotního rozsahu můžeme zvýraznit nebo naopak potlačit teplotní rozdíly jednotlivých částí snímku. Důležitá je i volba vhodné barevné palety. (17)

1.5.9 Využití termovize ve stavebnictví

Termokamery se ve stavebnictví používají pro zjišťování teplotních změn na povrchu stavební konstrukce, z nichž lze zjistit poškození vlhkostí, nesprávně provedenou tepelnou izolaci, nedostatečnou vzduchotěsnost a lokalizovat místa s možným výskytem plísní.



Obrázek 12 - Ukázka termosnímku - vnitřní roh místnosti (18)

Lze kontrolovat kvalitu provedených konstrukcí, zjišťovat výskyt tepelných mostů nebo netěsností plochých střech.

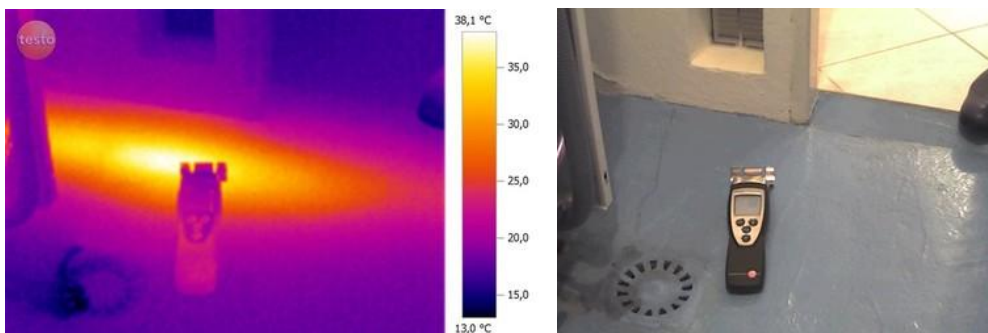
Kromě toho nachází termokamery využití v oblasti TZB například při:

- Ověřování správné funkčnosti podlahového topení.



Obrázek 13 - Termosnímek podlahového vytápění (18)

- Lokalizaci závad v rozvodech teplé i studené vody.



Obrázek 14 - Hledání poškozených rozvodů (19)

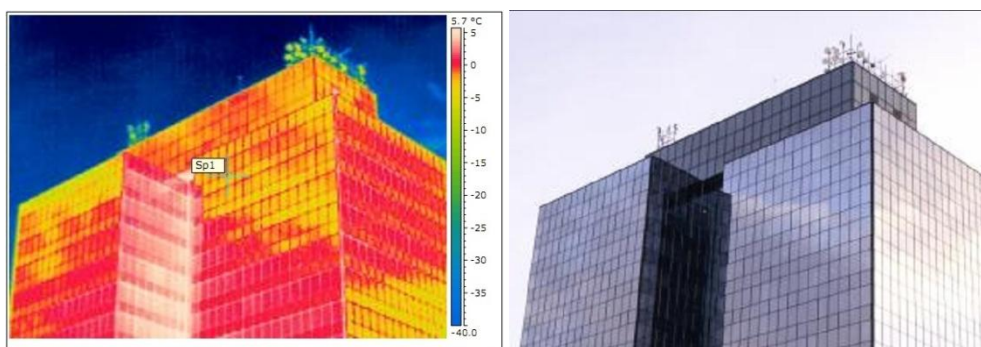
- Kontrole klimatizací a jejich správné instalace.
- Kontrole elektroinstalací a rozvaděčů.



Obrázek 15 - Kontrola rozvaděčů (20)

1.5.10 Snímání prosklených povrchů

I když sklo je pro běžné viditelné spektrum záření prostupné, v případě infračerveného záření se chová spíše jako zrcadlo. Proto při snímání prosklených povrchů dochází k odrazu okolních objektů na měřeném povrchu. Například na snímku skleněné fasády dole lze rozpoznat odraz mraků, které mají vyšší teplotu, a nezatažené oblohy.



Obrázek 16 - Snímání lesklých povrchů (17)

Proto je při snímání prosklených povrchů nutné zamezit co nejvíce vlivu okolních objektů nebo zohlednit jejich vliv při vyhodnocování snímků.

1.6 Softwarové řešení

Ruční výpočet energetické bilance je časově náročný, zejména u rozsáhlejších budov. S množstvím uvažovaných dat navíc stoupá možnost chyby ve výpočtu. Proto se zejména u výpočtů, jejichž postup se opakuje, začala využívat algoritmizace. Její aplikace vytvořila základ pro výpočetní software. Softwarové řešení má řadu výhod, zejména rychlost řešení nebo možnost změny počátečních podmínek a vstupních dat, což by při ručním výpočtu vedlo k množství práce navíc.

V současnosti je na trhu mnoho podobných programů. Zmíním například aplikaci Energetika od společnosti DEKSOFT, program Energie ze souboru Stavební fyzika, nebo výpočetní moduly od firmy Protech.

Jednotlivé aplikace se mohou lišit, zejména v okrajových podmínkách výpočtu. Záleží rovněž na použité verzi, ty se mohou lišit způsobem vyhodnocení dle legislativy platné v době zvyku, ale i v metodice výpočtu.

Pro řešení této práce jsem zvolil programy Energie 2010 a Teplo 2010 ze souboru Stavební fyzika. Do programů lze podrobně zadávat informace o stavebních konstrukcích, okrajové podmínky i další hodnoty potřebné pro výpočet. Program je uživatelsky přívětivý, přehledný a jednoduchý na ovládání.

B. APLIKACE TÉMATU NA ZADANÉ BUDOVĚ



2.1 Popis řešeného objektu

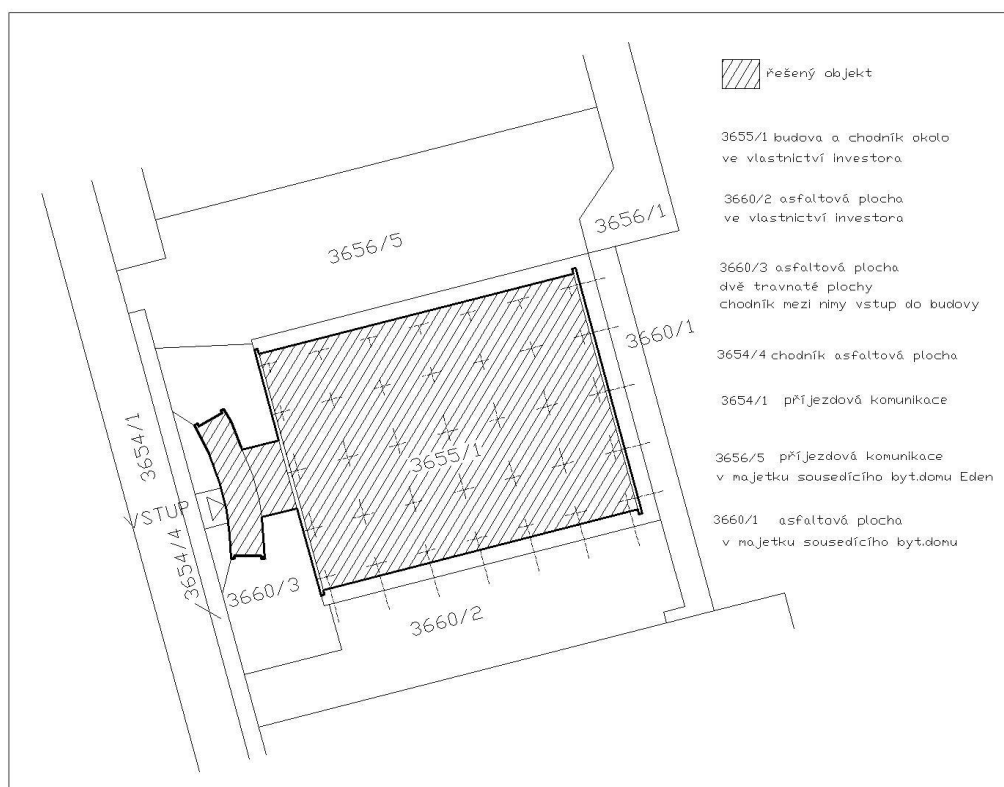
2.1.1 Stavební řešení

Řešeným objektem je administrativní budova společnosti NEPA na adrese Purkyňova 2740/45, Brno, 612 00. Jedná se o samostatně stojící budovu s plochou střechou, se 3 nadzemními a 1 podzemním podlažím. Přibližné rozměry jsou 46x30,5x12,5 m. Konstruktivní systém je tvořen betonovými prefabrikáty, svislé nosné konstrukce tvoří sloupy v modulové síti 7200x6000 mm, vodorovné konstrukce představují panely tl. 250 mm.

V suterénu se nachází technické zázemí budovy, v 1NP jsou situovány 4 prodejny se zázemím, v 2 NP a 3NP se nachází kanceláře.

Budova byla postavena v 70. letech 20. století. V roce 2011 proběhlo zateplení obvodových stěn a výměna výplní většiny otvorů. Východní stěna ve 2NP a 3NP z plynosilikátových tvárnic tl. 250 mm byla zateplena kontaktním systémem s izolací

SITUACE



49

2.1.2 Energetické systémy budovy

Vytápění budovy je zajištěno hlavně výměňkovou stanicí umístěnou v suterénu budovy. Dodavatelem tepla je Teplárna Brno, a. s. Teplotní spád primáru je 130/70°C v zimním období, v letním provozu pak 80/55°C. Smluvní příkon je 210 kW v zimním období, 50 kW v letním období. Je osazen kompaktní výměňkový systém CETEPREF, který slouží jako centrální zdroj tepla pro vytápění i pro přípravu teplé vody. Systém vytápění je dvoutrubkový s teplotním spádem 90/70°C s nuceným oběhem. Otopná tělesa jsou desková. Teplá voda je ohřívána v zásobníkovém ohřívači o objemu 1600 l.

V objektu je klimatizační jednotka firmy Sinclair systému inverter multisplit. Je instalována 1 venkovní kondenzátorová jednotka umístěná na střeše a 18 vnitřních výparníkových jednotek. Systém slouží k ohřevu a chlazení prostor, ne k nucenému větrání. Ovládání je ruční pomocí infračervených dálkových ovladačů. Odhadovaný podíl na vytápění objektu pomocí tohoto systému činí 20%. Maximální el. příkon je 28,31 kW, max. topný výkon je 57,6 kW, max. chladicí výkon je 101,6 kW.

Osvětlení je řešeno převážně trubicovými zářivkovými svítidly (70%), v menších místnostech kompaktními zářivkami (15%) nebo klasickými žárovkami (15%). Pro budovu byla stanovena průměrná hodnota intenzity osvětlení 500 lx.

Spotřeba teplé vody v objektu není známa, proto byla stanovena na základě měrných hodnot potřeb energie na přípravu TV uvedených v DIN 18599-10. Pro administrativní budovy je uvedena hodnota $q_{W,nd,z,d} = 30 \text{ Wh/(m}^2\cdot\text{den)}$. Pro roční potřebu energie na přípravu TV dostaneme hodnotu 10,95 kWh/(m²·rok).

Potřeba energie pro provoz el. spotřebičů je uvažována 15 W/m².

2.1.3 Užívání budovy

Budova je uvažována jako administrativní. Využití je celoroční, 5 dní v týdnu, obsazenost osobami 12 hodin denně. V objektu je uvažována 1 vytápěná zóna tvořená třemi nadzemními podlažími včetně schodišťové části. Suterén je uvažován jako nevytápěný. Návrhová vnitřní teplota je 20°C. Výměna vzduchu je přirozeným větráním, uvažovaná intenzita je 0,5 /h.

2.1.4 Energetická náročnost budovy

Pro zpracování energetického posouzení budovy byla využita stavebně technická dokumentace řešeného objektu, podklady o skutečné spotřebě energií a příslušné legislativní předpisy a technické normy. Řešením v programu Energie 2010 byla stanovena následující potřeba energie objektu:

Tabulka č. 2.1 – Celková roční potřeba energie

Energetická náročnost vytápění za rok EP,H:	1232,379 GJ	342,327 MWh	99 kWh/m2
Energetická náročnost chlazení za rok EP,C:	51,927 GJ	14,424 MWh	4 kWh/m2
Energ. náročnost přípravy TV za rok EP,W:	143,613 GJ	39,893 MWh	12 kWh/m2
Spotřeba energie na osvětlení a spotř. Q,fuel,L:	941,943 GJ	261,651 MWh	76 kWh/m2
Celková roční dodaná energie Q,fuel=EP:	2369,862 GJ	658,295 MWh	190 kWh/m2

Podrobné výsledky výpočtu jsou uvedeny v příslušných přílohách.

2.2 Energetický audit

Administrativní budova NEPA, s. r. o.

Purkyňova 2740/45, Brno, 612 00



leden 2015

2.2.1 Identifikační údaje

Vlastník předmětu energetického auditu

Název: NEPA, s. r. o.

Sídlo: Purkyňova 2740/45, Brno, 612 00

IČ: 15528383

Telefon: +420 541 590 130

Údaje o předmětu energetického auditu

Předmět: administrativní budova NEPA, s. r. o.

Adresa: Purkyňova 2740/45, Brno, 612 00

Zpracovatel energetického auditu

Zpracovatel: Tomáš Příborský

IČ: -

Osvědčení o zapsání do seznamu EA: -

Telefon: 777 684 342

2.2.2 Popis stávajícího stavu předmětu energetického auditu

Údaje o předmětu energetického auditu

Charakteristika hlavních činností předmětu energetického auditu

Předmětem auditu je hodnocení energetických nároků administrativní budovy společnosti NEPA, tepelně technického stavu budovy, nákladů energie a návrh a posouzení možných úsporných opatření.

Popis technických zařízení, systémů a budov

Jedná se o samostatně stojící budovu s plochou střechou, se 3 nadzemními a 1 podzemním podlažím. Přibližné rozměry jsou 46x30,5x12,5 m. Konstruktivní systém je tvořen betonovými prefabrikáty, svislé nosné konstrukce tvoří sloupy v modulové síti 7200x6000 mm, vodorovné konstrukce představují panely tl. 250 mm.

Budova byla postavena v 70. letech 20. století. V roce 2011 proběhlo zateplení obvodových stěn a výměna výplní většiny otvorů. Východní stěna ve 2NP a 3NP z plynosilikátových tvárnic tl. 250 mm byla zateplena kontaktním systémem s izolací EPS tl. 120 mm (výsledný $U = 0,28 \text{ W/m}^2\text{K}$). Schodišťová část v západní části a obvodová stěna v 1NP (V, Z část) je tvořena obvodovým zdívem z cihel CDm tl. 400 mm zatepleným provětrávanou fasádou ALUCOBOND s izolací minerální vatou tl. 120 mm ($U = 0,30 \text{ W/m}^2\text{K}$). Velká část severní a jižní fasády je prosklená, výplně tvoří nová hliníková okna a dveře s izolačními dvojskly ($U = 1,4 \text{ W/m}^2\text{K}$). Zbytek S a J fasády v 1NP tvoří zdívo z cihel CDm tl. 150 mm zatepleným provětrávanou fasádou ALUCOBOND s izolací minerální vatou tl. 120 mm ($U = 0,33 \text{ W/m}^2\text{K}$). Toto zdívo nevyhoví na normové požadavky na součinitel U . Výplně otvorů schodišťové části tvoří původní kovová okna ($U = 2,5 \text{ W/m}^2\text{K}$). Tato okna rovněž nevyhoví na normové požadavky na U . Střecha je původní jednoplášťová, izolaci tvoří panely AC-PS tl. 62 mm. Součinitel prostupu tepla ($U = 0,78 \text{ W/m}^2\text{K}$) rovněž nevyhoví normovým požadavkům.

Budova je uvažována jako administrativní. Využití je celoroční, 5 dní v týdnu, obsazenost osobami 12 hodin denně. V objektu je uvažována 1 vytápěná zóna tvořená

třemi nadzemními podlažími včetně schodišťové části. Suterén je uvažován jako nevytápěný. Návrhová vnitřní teplota je 20°C. Výměna vzduchu je přirozeným větráním, uvažovaná intenzita je 0,5 /h.

V suterénu se nachází technické zázemí budovy, v 1NP jsou situovány 4 prodejny se zázemím, v 2 NP a 3NP se nachází kanceláře.

Vytápění budovy je zajištěno hlavně výměňkovou stanicí umístěnou v suterénu budovy. Dodavatelem tepla je Teplárna Brno, a. s. Teplotní spád primáru je 130/70°C v zimním období, v letním provozu pak 80/55°C. Smluvní příkon je 210 kW v zimním období, 50 kW v letním období. Je osazen kompaktní výměňkový systém CETEPREF, který slouží jako centrální zdroj tepla pro vytápění i pro přípravu teplé vody. Systém vytápění je dvoutrubkový s teplotním spádem 90/70°C s nuceným oběhem. Otopná tělesa jsou desková. Teplá voda je ohřívána v zásobníkovém ohříváči o objemu 1600 l.

V objektu je klimatizační jednotka firmy Sinclair systému inverter multisplit. Je instalována 1 venkovní kondenzátorová jednotka umístěná na střeše a 18 vnitřních výparníkových jednotek. Systém slouží k ohřevu a chlazení prostor, ne k nucenému větrání. Ovládání je ruční pomocí infračervených dálkových ovladačů. Odhadovaný podíl na vytápění objektu pomocí tohoto systému činí 20%. Maximální el. příkon je 28,31 kW, max. topný výkon je 57,6 kW, max. chladicí výkon je 101,6 kW.

Osvětlení je řešeno převážně trubicovými zářivkovými svítidly (70%), v menších místnostech kompaktními zářivkami (15%) nebo klasickými žárovkami (15%). Pro budovu byla stanovena průměrná hodnota intenzity osvětlení 500 lx.

Spotřeba teplé vody v objektu není známa, proto byla stanovena na základě měrných hodnot potřeb energie na přípravu TV uvedených v DIN 18599-10. Pro administrativní budovy je uvedena hodnota $q_{W,nd,z,d} = 30 \text{ Wh}/(\text{m}^2 \cdot \text{den})$. Pro roční potřebu energie na přípravu TV dostaneme hodnotu 10,95 kWh/(m²·rok).

Potřeba energie pro provoz el. spotřebičů je uvažována 15 W/m².

Energetické vstupy

Tabulka č. 2.2 - Celkové reálné roční spotřeby tepla

Rok	Spotřeba v GJ	Cena za GJ	Cena za teplo	Výkon v MW	Cena za výkon	Cena celkem bez DPH
2010	1 590,52	359,00 Kč	570 996,68 Kč	0,21	134 240,40 Kč	705 237,08 Kč
2011	1 451,08	389,30 Kč	520 937,72 Kč	0,21	134 240,40 Kč	655 178,12 Kč
2012	1140,98	389,30 Kč	444 183,51 Kč	0,21	139 255,20 Kč	583 438,71 Kč

Tabulka č. 2.3 – Celkové reálné roční spotřeby elektřiny

Rok	Spotřeba z distr sítě E.ON v MWh	Cena celkem bez DPH
2010	208,34	681386,52
2011	223,269	711722,81
2012	185,051	613263,66

Tabulka č. 2.4 - Skutečné spotřeby energií

Pro rok: 2012					
Vstupy paliv a energie	Jednotka	Množství	Výhřevnost GJ/jednotku	Přepočet na GJ	Roční náklady v tis. Kč
Elektřina	MWh	185,05	3,6	666,18	613263,66
Teplo	GJ	1140,98			583438,71
Zemní plyn	MWh				
Jiné plyny	MWh				
Hnědé uhlí	t				
Černé uhlí	t				
Koks	t				
Jiná pevná paliva	t				
TTO	t				
LTO	t				
Nafta	t				
Druhotné zdroje	GJ				

Obnovitelné zdroje	GJ/MWh				
Jiná paliva	GJ				
Celkem vstupy paliv a energie				1807,16	1196702,37
Změna stavu zásob paliv (inventarizace)					
Celkem spotřeba paliv a energie				1807,16	1196702,37

Vlastní zdroje energie

Nejsou instalovány vlastní zdroje energie.

Tabulka č. 2.5 - Základní technické ukazatele vlastního zdroje energie

ř.	Název ukazatele	Jednotka	Hodnota
1	Roční celková účinnost zdroje	(%)	
	[z tabulky b) - (ř.3 x 3,6 + ř.7) : ř.12]		
2	Roční účinnost výroby elektrické energie	(%)	
	[z tabulky b)-ř.3 x 3,6 : ř. 6]		
3	Roční účinnost výroby tepla	(%)	
	[z tabulky b)-ř.7 : ř. 11]		
4	Spotřeba energie v palivu na výrobu elektřiny	(GJ/MWh)	
	[z tabulky b)-ř.6 : ř. 3]		
5	Spotřeba energie v palivu na výrobu tepla	(GJ)	
	[z tabulky b)-ř. 11 : ř. 7]		
6	Roční využití instalovaného elektrického výkonu	(hod)	
	[z tabulky b)-ř.3 : ř. 1]		
7	Roční využití instalovaného tepelného výkonu	(hod)	
	[z tabulky b)-(ř.7 : 3,6) : ř. 2]		

Tabulka č. 2.6 - Roční bilance výroby z vlastního zdroje energie

ř.	Název ukazatele	Jednotka	Hodnota
1	Instalovaný elektrický výkon celkem	(MW)	
2	Instalovaný tepelný výkon celkem	(MW)	
3	Výroba elektřiny	(MWh)	
4	Prodej elektřiny	(MWh)	
5	Vlastní technologická spotřeba elektřiny na výrobu elektřiny	(MWh)	
6	Spotřeba energie v palivu na výrobu elektřiny	(GJ/r)	
7	Výroba tepla	(GJ/r)	
8	Dodávka tepla	(GJ/r)	
9	Prodej tepla	(GJ/r)	
10	Vlastní technologická spotřeba tepla na výrobu tepla	(GJ/r)	
11	Spotřeba energie v palivu na výrobu tepla	(GJ/r)	
12	Spotřeba energie v palivu celkem	(GJ/r)	

Rozvody energie

Rozvody vytápění

Systém vytápění je dvoutrubkový s teplotním spádem 90/70°C s nuceným oběhem. Potrubí je ocelové, izolované.

Rozvod chladu

Rozvod chladiva R407C je realizován od centrální kondenzační jednotky k jednotlivým výparníkům. Rozvod je proveden měděným potrubím v krytém žlabu po střeše a fasádě budovy, pod stropem v interiéru.

Rozvody TV

Příprava TV je centrální v zásobníkovém ohříváči o objemu 1600 l. Potrubí je ocelové, ležatá i stoupací potrubí jsou izolovaná.

Rozvody elektřiny

Rozvody jsou původní, použity jsou hliníkové kabely AYKY. V 1NP je umístěna trafostanice pro tento objekt.

Významné spotřebiče energie

Mezi významné spotřebiče energie lze zařadit vzduchotechnický systém Sinclair o max. příkonu 28,31 kW.

Tepelně technické vlastnosti budovy

Tabulka č. 2.7 - Ochlazované konstrukce na styku s exteriérem

Název konstrukce	Plocha [m ²]	U [W/m ² K]
Stěna plynosilikát25 + EPS	268,01	0,28
Stěna CDm40 + ALU	418,49	0,3
Stěna CDm15 + ALU	76,69	0,33
Střecha plochá	1263,69	0,78
Stěna plynosilikát25 + ALU	154,24	0,27
Podlaha 2NP exteriér	129,87	0,31
Dveře s dvojsklem 1	20,3	1,4
Jednoduché okno s dvojsklem 2	1,44	1,4
Jednoduché okno s dvojsklem 3	36	1,4
Jednoduché okno s dvojsklem 4	3	1,4
Jednoduché dveře s dvojsklem 5	5,04	1,4
Jednoduché dveře s dvojsklem 6	6,3	1,4
Jednoduché okno s dvojsklem 7	2,4	1,4
Jednoduché okno s dvojsklem 12	151,2	1,4
Jednoduché dveře s dvojsklem 8	3,3	1,4
Jednoduché dveře s dvojsklem 9	2,05	1,4
Jednoduché dveře s dvojsklem 1	1,85	1,4
Dveře s dvojsklem 11	109,2	1,4
Jednoduché dveře s dvojsklem 1	151,2	1,4
Dveře s dvojsklem 13	12,8	1,4
Dveře s dvojsklem 14	47,6	1,4
Jednoduché okno s dvojsklem 15	7,2	1,4
Jednoduché okno s přeruš. tep.	44,1	2,5
Jednoduché okno s přeruš. tep.	14,19	2,5
Jednoduché okno s přeruš. tep.	40,86	2,5
Jednoduché okno s přeruš. tep.	38,15	2,5
Neprůhledná okna J	187,74	1,4
Neprůhledná okna S	187,74	1,4

Tabulka č. 2.8 - Ochlazované konstrukce na styku s nevytápěným prostorem

Název konstrukce:	Plocha kce [m ²]	Součinitel prostupu tepla U [W/m ² K]	Činitel teplotní redukce b:
Podlaha PVC	302,7	1,41	0,31
Podlaha keramická dlažba	454,98	1,44	0,31
Podlaha teraco	289,9	1,48	0,31
Podlaha cem. potěr	1,4	1,43	0,31

Průměrný součinitel prostupu tepla obálky budovy U_{em} je 0,93 W/m²K.

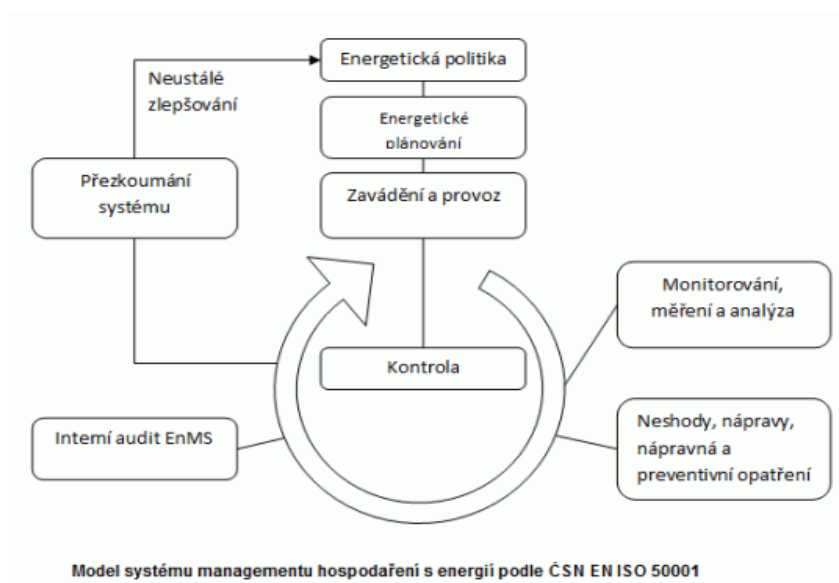
Faktor tvaru budovy A/V je 0,29 m²/m³.

Měrná spotřeba energie budovy EP,A je 190 kWh/(m²,a).

Uvažovaná lokalita je Brno. Okrajové podmínky budou uvažovány dle softwaru Energie pro zadanou lokalitu. Budou uvedeny v příloze 2.

Systém managementu dle normy ČSN EN ISO 50001 Systémy managementu hospodaření s energií

Není uvažován management hospodaření s energií podle dané normy.



Obrázek 18 - Model systému managementu hospodaření s energií (21)

2.2.3 Vyhodnocení stávajícího stavu předmětu energetického auditu

Vyhodnocení účinnosti užití energie

Uvažované hodnoty po výpočet:

Účinnost sdílení/distribuce TV: 95,0 % / 98,0 %

Účinnost sdílení/distribuce tepla: 98,0 % / 98,0 %

Účinnost výroby/regulace tepla: 95,0 % / 97,0 %

Účinnost sdílení/distribuce chladu: 98,0 % / 98,0 %

Vyhodnocení tepelně technických vlastností stavebních konstrukcí budov

Posouzení konstrukcí podle požadavků ČSN 73 0540-2.

Tabulka č. 2.9 - Posouzení konstrukcí na styku s exteriérem

Název konstrukce	Plocha [m ²]	U [W/m ² K]	U _{req} [W/m ² K]	Posouzení
Stěna plynosilikát25 + EPS	268,01	0,28	0,3	vyhoví
Stěna CDm40 + ALU	418,49	0,3	0,3	vyhoví
Stěna CDm15 + ALU	76,69	0,33	0,3	nevyhoví
Střecha plochá	1263,69	0,78	0,24	nevyhoví
Stěna plynosilikát25 + ALU	154,24	0,27	0,3	vyhoví
Podlaha 2NP exteriér	129,87	0,31	0,24	nevyhoví
Dveře s dvojsklem 1	20,3	1,4	1,7	vyhoví
Jednoduché okno s dvojsklem 2	1,44	1,4	1,5	vyhoví
Jednoduché okno s dvojsklem 3	36	1,4	1,5	vyhoví
Jednoduché okno s dvojsklem 4	3	1,4	1,5	vyhoví
Jednoduché dveře s dvojsklem 5	5,04	1,4	1,7	vyhoví
Jednoduché dveře s dvojsklem 6	6,3	1,4	1,7	vyhoví
Jednoduché okno s dvojsklem 7	2,4	1,4	1,5	vyhoví
Jednoduché okno s dvojsklem 12	151,2	1,4	1,5	vyhoví
Jednoduché dveře s dvojsklem 8	3,3	1,4	1,7	vyhoví
Jednoduché dveře s dvojsklem 9	2,05	1,4	1,7	vyhoví
Jednoduché dveře s dvojsklem 1	1,85	1,4	1,7	vyhoví
Dveře s dvojsklem 11	109,2	1,4	1,7	vyhoví

Jednoduché dveře s dvojsklem 1	151,2	1,4	1,7	vyhoví
Dveře s dvojsklem 13	12,8	1,4	1,7	vyhoví
Dveře s dvojsklem 14	47,6	1,4	1,7	vyhoví
Jednoduché okno s dvojsklem 15	7,2	1,4	1,5	vyhoví
Jednoduché okno s přeruš. tep.	44,1	2,5	1,5	nevyhoví
Jednoduché okno s přeruš. tep.	14,19	2,5	1,5	nevyhoví
Jednoduché okno s přeruš. tep.	40,86	2,5	1,5	nevyhoví
Jednoduché okno s přeruš. tep.	38,15	2,5	1,5	nevyhoví
Neprůhledná okna J	187,74	1,4	1,5	vyhoví
Neprůhledná okna S	187,74	1,4	1,5	vyhoví

Tabulka č. 2.10 - Posouzení konstrukcí na styku s nevytápěným prostorem

Název konstrukce:	Plocha kce [m ²]	Součinitel prostupu tepla U [W/m ² K]	Činitel teplotní redukce b:	U _{req} [W/m ² K]	Posouzení
Podlaha PVC	302,7	1,41	0,31	1,05	nevyhoví
Podlaha keramická dlažba	454,98	1,44	0,31	1,05	nevyhoví
Podlaha teraco	289,9	1,48	0,31	1,05	nevyhoví
Podlaha cem. potěr	1,4	1,43	0,31	1,05	nevyhoví

Průměrný součinitel prostupu tepla obálky budovy U_{em} je 0,93 W/m²K.

Prům. součinitel prostupu tepla obálky referenční budovy $U_{em,req}$ je 0,67 W/m²K.

$$\frac{U_{em}}{U_{em,req}} = \frac{0,93}{0,67} = 1,38$$

Celková roční dodaná energie budovy je $Q_{fuel} = 2369,862$ GJ.

Celková roční dodaná energie referenční budovy je $Q_{fuel,req} 2056,602$ GJ.

$$\frac{Q_{fuel}}{Q_{fuel,req}} = \frac{2369,862}{2056,602} = 1,15$$

Klasifikační třída	Hodnota pro horní hranici klasifikační třídy		Slovní vyjádření klasifikační třídy
	energie	U_{em}	
A	$0,5 \cdot E_R$	$0,65 \cdot E_R$	mimořádně úsporná
B	$0,75 \cdot E_R$	$0,8 \cdot E_R$	velmi úsporná
C	E_R		úsporná
D	$1,5 \cdot E_R$		méně hospodárná
E	$2 \cdot E_R$		nehospodárná
F	$2,5 \cdot E_R$		velmi nehospodárná
G			mimořádně nehospodárná

E_R – výsledek energetického hodnocení referenční budovy

Obrázek 19 - Hodnocení energetické náročnosti budov podle vyhlášky 78/2013 Sb. (22)

Výsledné hodnocení je **D – méně hospodárná**.

Celková energetická bilance

Tabulka č. 2.11 – Celková energetická bilance

ř.	Ukazatel	Energie		Náklady
		(GJ)	(MWh)	(tis. Kč)
1	Vstupy paliv a energie	1807,2	501,99	1196,7024
2	Změna zásob paliv		0	
3	Spotřeba paliv a energie (ř. 1 + ř.2)	1807,2	501,99	1196,7024
4	Prodej energie cizím		0	
5	Konečná spotřeba paliv a energie (ř.3-ř.4)	1807,2	501,99	1196,7024
6	Ztráty ve vlastním zdroji a rozvodech energie (z ř.5)			
7	Spotřeba energie na vytápění (z ř.5)	939,76	261,04	
8	Spotřeba energie na chlazení (z ř.5)	39,60	11,00	
9	Spotřeba energie na přípravu teplé vody (z ř.5)	109,51	30,42	
10	Spotřeba energie na větrání (z ř.5)	0	0	
11	Spotřeba energie na úpravu vlhkosti (z ř.5)	0	0	
12	Spotřeba energie na osvětlení (z ř.5)	230,25	63,96	
13	Spotřeba energie na technologické a ostatní procesy (z ř.5)	488,04	135,57	

2.2.4 Návrhy opatření ke zvýšení účinnosti užití energie

Pro snížení ztrát prostupem by bylo vhodné zateplít střechu objektu. Stávající konstrukce se součinitelem prostupu tepla $U = 0,78 \text{ W/m}^2\text{K}$ nevyhoví normovým požadavkům dle ČSN 73 0540-2.

1. Návrh zateplení střechy 100 mm EPS pro splnění požadované hodnoty $U_{N,20} = 0,24 \text{ W/m}^2\text{K}$.

2. Návrh zateplení střechy 100 mm EPS pro splnění doporučené hodnoty $U_{rec,20} = 0,16 \text{ W/m}^2\text{K}$.

Další navržené varianty se zabývají možností změny zdroje tepla pro vytápění a přípravu teplé vody.

3. Návrh tepelných čerpadel pro daný objekt.

4. Návrh plynových kotlů jako zdroje tepla.

2.2.5 Varianty z návrhu jednotlivých opatření

Pro posouzení jsou uvažovány vypočtené hodnoty potřeb z programu Energie.

Varianta 1

Zateplení střechy 100 mm EPS pro splnění požadované hodnoty $U_{N,20} = 0,24 \text{ W/m}^2\text{K}$. Výsledný $U = 0,23 \text{ W/m}^2\text{K}$. Odhadované náklady na zateplení střechy jsou 1200 Kč/m^2 , při ploše 1264 m^2 činí celkem **1 516 800 Kč**.

Úspora roční potřeby energie činí $2369,862 - 2097,167 = 272,695 \text{ GJ}$. To při ceně dodávaného tepla $511,35 \text{ Kč/GJ}$ činí roční finanční úsporu $139\,442 \text{ Kč/rok}$.

Tabulka č. 2.12 – Upravená roční energetická bilance – varianta 1

ř.	Ukazatel	Před realizací projektu			Po realizaci projektu		
		Energie		Náklady	Energie		Náklady
		(GJ)	(MWh)	(tis. Kč)	(GJ)	(MWh)	(tis. Kč)
1	Vstupy paliv a energie	2369,9	658,3	1196,70	2097,2	582,5	1057,26
2	Změna zásob paliv		0,0			0,0	
3	Spotřeba paliv a energie	2369,9	658,3	1196,70	2097,2	582,5	1057,26
4	Prodej energie cizím		0,0			0,0	
5	Konečná spotřeba paliv a energie v objektu	2369,9	658,3	1196,70	2097,2	582,5	1057,26
6	Ztráty ve vlastním zdroji a rozvodech		0,0			0,0	
7	Spotřeba energie na vytápění	1232,4	342,3		959,7	266,6	
8	Spotřeba energie na chlazení	51,9	14,4		51,9	14,4	
9	Spotřeba energie na přípravu teplé vody	143,6	39,9		143,6	39,9	
10	Spotřeba energie na větrání	0,0	0,0		0,0	0,0	
11	Spotřeba energie na úpravu vlhkosti	0,0	0,0		0,0	0,0	
12	Spotřeba energie na osvětlení	301,9	83,9		301,9	83,9	
13	Spotřeba energie na technologické a ostatní procesy	640	177,8		640,0	177,8	

Varianta 2

Zateplení střechy 180 mm EPS pro splnění doporučené hodnoty $U_{\text{rec},20} = 0,16 \text{ W/m}^2\text{K}$. Výsledný $U = 0,15 \text{ W/m}^2\text{K}$. Odhadované náklady na zateplení střechy jsou 1400 Kč/m^2 , při ploše 1264 m^2 činí celkem **1 769 600 Kč**.

Úspora roční potřeby energie činí $2369,862 - 2065,436 = 304,426 \text{ GJ}$. To při ceně dodávaného tepla $511,35 \text{ Kč/GJ}$ činí roční finanční úsporu $155\,668 \text{ Kč/rok}$.

Tabulka č. 2.13 – Upravená roční energetická bilance – varianta 2

ř.	Ukazatel	Před realizací projektu			Po realizaci projektu		
		Energie		Náklady	Energie		Náklady
		(GJ)	(MWh)	(tis. Kč)	(GJ)	(MWh)	(tis. Kč)
1	Vstupy paliv a energie	2369,9	658,3	1196,70	2065,4	573,7	1041,03
2	Změna zásob paliv		0,0			0,0	
3	Spotřeba paliv a energie	2369,9	658,3	1196,70	2065,4	573,7	1041,03
4	Prodej energie cizím		0,0			0,0	
5	Konečná spotřeba paliv a energie v objektu	2369,9	658,3	1196,70	2065,4	573,7	1041,03
6	Ztráty ve vlastním zdroji a rozvodech		0,0			0,0	
7	Spotřeba energie na vytápění	1232,4	342,3		928,0	257,8	
8	Spotřeba energie na chlazení	51,9	14,4		51,9	14,4	
9	Spotřeba energie na přípravu teplé vody	143,6	39,9		143,6	39,9	
10	Spotřeba energie na větrání	0,0	0,0		0,0	0,0	
11	Spotřeba energie na úpravu vlhkosti	0,0	0,0		0,0	0,0	
12	Spotřeba energie na osvětlení	301,9	83,9		301,9	83,9	
13	Spotřeba energie na technologické a ostatní procesy	640	177,8		640,0	177,8	

Varianta 3

Instalace tepelných čerpadel. V okolí budovy není dostatečný prostor pro vrty potřebné pro systém země – voda, ani vodní zdroj pro systém voda – voda. Proto byl vybrán typ vzduch – voda. Potřebný výkon se stanoví z vypočtených hodnot tepelných ztrát z programu Energie. Pro tepelný tok $H_t = 4108,1 \text{ W/K}$ a návrhový rozdíl teplot 32°C činí $131,5 \text{ kW}$.

Navržena 3 tepelná čerpadla vzduch - voda DIMPLEX LA 60TU

Topný výkon	3 x 50 kW
Příkon	3 x 14,9 kW
Topný faktor COP	3,36

Odhadovaná cena instalace:

tepelná čerpadla	3 x 890 000 Kč
instalace a montáž	150 000 Kč
celkem	2 820 000 Kč

Energie potřebná na vytápění a přípravu TV činí $1232,379 + 143,613 = 1375,992 \text{ GJ/rok}$. Tuto energii lze dodávat tepelnými čerpadly. Měrné náklady na GJ dodávaného tepla činí $511,35 \text{ Kč/GJ}$, na GJ elektřiny $920,56 \text{ Kč/GJ}$. Při započtení $\text{COP} = 3,35$ činí měrné náklady na přípravu tepla pomocí tepelného čerpadla $920,56/3,36 = 273,98 \text{ Kč/GJ}$. Finanční úspora činí $1375,992 \cdot (511,35 - 273,98) = 326\,620 \text{ Kč/rok}$. Energetická úspora je $1375,992 - 1375,992 / \text{COP} = 966,471 \text{ GJ/rok}$.

Tabulka č. 2.14 – Upravená roční energetická bilance – varianta 3

ř.	Ukazatel	Před realizací projektu			Po realizaci projektu		
		Energie		Náklady	Energie		Náklady
		(GJ)	(MWh)	(tis. Kč)	(GJ)	(MWh)	(tis. Kč)
1	Vstupy paliv a energie	2369,9	658,3	1196,70	1403,4	389,8	870,08
2	Změna zásob paliv		0,0			0,0	
3	Spotřeba paliv a energie	2369,9	658,3	1196,70	1403,4	389,8	870,08
4	Prodej energie cizím		0,0			0,0	
5	Konečná spotřeba paliv a energie v objektu	2369,9	658,3	1196,70	1403,4	389,8	870,08
6	Ztráty ve vlastním zdroji a rozvodech						
7	Spotřeba energie na vytápění	1232,4	342,3		329,2	73,9	
8	Spotřeba energie na chlazení	51,9	14,4		51,9	14,4	
9	Spotřeba energie na přípravu teplé vody	143,6	39,9		80,4	39,9	
10	Spotřeba energie na větrání	0,0	0,0		0,0	0,0	
11	Spotřeba energie na úpravu vlhkosti	0,0	0,0		0,0	0,0	
12	Spotřeba energie na osvětlení	301,9	83,9		301,9	83,9	
13	Spotřeba energie na technologické a ostatní procesy	640	177,8		640,0	177,8	

Varianta 4

Návrh plynových kotlů jako zdroje tepla. Tento návrh je zde uveden pouze pro srovnání, v praxi je obtížně realizovatelný, neboť teplárny neumožní odpojení od centrálního zásobování teplem. Potřebný výkon se stanoví z vypočtených hodnot tepelných ztrát z programu Energie. Pro tepelný tok $H_t = 4108,1 \text{ W/K}$ a návrhový rozdíl teplot 32 °C činí $131,5 \text{ kW}$. Navržena byla dvojice plynových kotlů Buderus Logamax plus GB162 65kW v provedení C.

Odhadovaná cena instalace:

2 x kotel Buderus Logamax plus GB162-65	2 x 84 000 Kč
zřízení cesty pro odvod spalín a přívod vzduchu z kotelny v suterénu na střechu objektu, související stavební úpravy	70 000 Kč
zřízení plynovodní přípojky, související stavební úpravy	65 000 Kč
armatury, tlaková nádoba, měření a regulace, instalace	80 000 Kč
celkem	383 000 Kč

Energie potřebná na vytápění a přípravu TV činí $1232,379 + 143,613 = 1375,992 \text{ GJ/rok}$. Tuto energii lze dodávat plynovými kotli. Měrné náklady na GJ dodávaného tepla z CZT činí $511,35 \text{ Kč/GJ}$. Náklady na plyn činí při zvoleném tarifu RWE plyn Optimal za dodávku energie a distribuci plynu $400,36 \text{ Kč/GJ}$. (23) Finanční úspora činí $1375,992 \cdot (511,35 - 400,36) = 152\,721 \text{ Kč/rok}$.

Nejedná se o energeticky úsporné opatření, mění se pouze nositel energie na vytápění a ohřev TV.

Tabulka č. 2.15 – Upravená roční energetická bilance – varianta 4

ř.	Ukazatel	Před realizací projektu			Po realizaci projektu		
		Energie		Náklady	Energie		Náklady
		(GJ)	(MWh)	(tis. Kč)	(GJ)	(MWh)	(tis. Kč)
1	Vstupy paliv a energie	2369,9	658,3	1196,70	2369,9	658,3	1043,98
2	Změna zásob paliv		0,0			0,0	
3	Spotřeba paliv a energie	2369,9	658,3	1196,70	2369,9	658,3	1043,98
4	Prodej energie cizím		0,0			0,0	
5	Konečná spotřeba paliv a energie v objektu	2369,9	658,3	1196,70	2369,9	658,3	1043,98
6	Ztráty ve vlastním zdroji a rozvodech						
7	Spotřeba energie na vytápění	1232,4	342,3		1232,4	342,3	
8	Spotřeba energie na chlazení	51,9	14,4		51,9	14,4	
9	Spotřeba energie na přípravu teplé vody	143,6	39,9		143,6	39,9	
10	Spotřeba energie na větrání	0,0	0,0		0,0	0,0	
11	Spotřeba energie na úpravu vlhkosti	0,0	0,0		0,0	0,0	
12	Spotřeba energie na osvětlení	301,9	83,9		301,9	83,9	
13	Spotřeba energie na technologické a ostatní procesy	640	177,8		640	177,8	

2.2.6 Výběr optimální varianty

Ekonomické vyhodnocení navržených variant

Tabulka č. 2.16 – Srovnání jednotlivých variant z finančního hlediska

Parametr	Jednotka	Varianta 1	Varianta 2	Varianta 3	Varianta 4
Investiční výdaje projektu	Kč	1516800	1769600	2820000	383000
Změna nákladů na energie	Kč	139442	155668	326620	152721
změna osobních nákladů (mzdy, pojistné)	Kč	0	0	0	0
změna ostatních provozních nákladů	Kč	0	0	0	0
změna nákladů za emise a odpady	Kč	0	0	0	0
Změna tržeb (za teplo, elektřinu, využití odpady)	Kč	0	0	0	0
Přínosy projektu celkem	Kč	139442	155668	326620	152721
Doba hodnocení	roky	20	20	20	20
Roční růst cen energie	%	3	3	3	3
Diskont	%	2	2	2	2
Ts - prostá doba návratnosti	roky	10	10	8	3
Tsd - reálná doba návratnosti	roky	11	12	9	3
NPV - čistá současná hodnota	tis. Kč	1487632	1584440	4217390	2907543
IRR - vnitřní výnosové procento	%	9	9	13	43

Z finančního hlediska se jeví jako nejvýhodnější varianta 4 – Návrh plynových kotlů jako zdroj tepla. Při nízkých vstupních nákladech dosahuje nejlepší návratnosti. V praxi ovšem je těžko realizovatelný, proto ho nelze doporučit. Varianta 3 - Instalace tepelných čerpadel má nejlepší návratnost, ovšem vstupní náklady by představovaly velkou zátěž pro investora. Proto se jako nejvýhodnější jeví varianta 1 - Zateplení střechy 100 mm EPS.

Ekologické vyhodnocení navržených variant

Budova je zásobována teplem z CZT. Dodavatelem tepla jsou Teplárny Brno, a. s. Jako palivo dodavatel používá zemní plyn. Na základě těchto informací byla stanovena množství znečišťujících látek produkovaných při výrobě dodávané energie.

Tabulka č. 2.17 – Srovnání jednotlivých variant z ekologického hlediska

Znečišťující látka	Výchozí stav	Varianta 1	Rozdíl	Varianta 2	Rozdíl	Varianta 3	Rozdíl	Varianta 4	Rozdíl
	t/rok	t/rok	t/rok	t/rok	t/rok	t/rok	t/rok	t/rok	t/rok
Tuhé znečišťující látky	0,00151	0,00134	0,00017	0,00132	0,00019	0,00090	0,00062	0,00151	0,00000
SO ₂	0,00134	0,00118	0,00015	0,00117	0,00017	0,00079	0,00055	0,00134	0,00000
NO _x	0,22935	0,20296	0,02639	0,19989	0,02946	0,13582	0,09353	0,22935	0,00000
CO	0,01884	0,01668	0,00217	0,01642	0,00242	0,01116	0,00768	0,01884	0,00000
CO ₂	131,659	116,509	15,150	114,746	16,913	77,967	53,692	131,659	0,000

Ekologicky nejprínosnější je varianta 3 - Instalace tepelných čerpadel.

2.2.7 Doporučení energetického specialisty oprávněného zpracovat energetický audit

Z finančního hlediska se jeví jako nejvýhodnější varianta 4 – Návrh plynových kotlů jako zdroj tepla. Při nízkých vstupních nákladech dosahuje nejlepší návratnosti. V praxi je ovšem těžko realizovatelný, proto ho nelze doporučit. Varianta 3 - Instalace tepelných čerpadel má nejlepší návratnost i nejvýznamnější ekologický přínos, ovšem vstupní náklady by představovaly velkou zátěž pro investora. Proto bych jako nejvýhodnější doporučil variantu 1 - Zateplení střechy 100 mm EPS, která dosahuje lepší návratnosti investice než varianta 2.

2.2.8 Evidenční list energetického auditu

Evidenční list energetického auditu (EA)
podle zákona č. 406/2000 Sb. o hospodaření energií, ve znění pozdějších předpisů

Evidenční číslo	1234/5
------------------------	--------

1. Část - Identifikační údaje

1. Název nebo obchodní firma vlastníka předmětu EA			
NEPA, s. r. o.			
2. Sídlo			
a) ulice	b) č.p./č.o.	c) část obce	
Purkyňova	2740/45	Královo Pole	
d) obec	e) PSČ	f) email	g) telefon
Brno	612 00	info@nepa.cz	+420 541 590 130
3. Identifikační číslo			
15528383			
4. Odpovědný zástupce			
a) jméno		b) kontakt	
-		-	

5. Předmět energetického auditu

a) název

administrativní budova NEPA, s. r. o.

b) adresa

Purkyňova 2740/45, Brno, 612 00

c) popis předmětu EA

Předmětem auditu je hodnocení energetických nároků administrativní budovy společnosti NEPA, tepelně technického stavu budovy, nákladů energie a návrh a posouzení možných úsporných opatření.

2. Část - Popis stávajícího stavu předmětu EA

1. Charakteristika hlavních činností

Budova je uvažována jako administrativní. V suterénu se nachází technické zázemí budovy, v 1NP jsou situovány 4 prodejny se zázemím, v 2 NP a 3NP se nachází kanceláře.

2. Vlastní zdroje energie

a) zdroje tepla

počet ks

instalovaný výkon MW

b) zdroje elektřiny

počet ks

instalovaný výkon W]

roční výroba	-	MWh	roční výroba	-	MWh
roční spotřeba paliva	-	GJ/r	roční spotřeba paliva	-	GJ/r
c) kombinovaná výroba elektřiny a tepla			d) obnovitelné zdroje		
počet	0	ks	počet	0	ks
instal. výkon elektrický	-	MW	instalovaný výkon	-	MW
instal. výkon tepelný	-	MW	roční výroba	-	MWh
roční výroba elektřiny	-	MWh	druh OZE	-	
roční výroba tepla	-	MWh			
roční spotřeba paliva	-	GJ/r			
3. Spotřeba energie					
Druh spotřeby	Příkon		Spotřeba energie		Nositel energie
Vytápění	0,21	MW	939,761	GJ/r	teplo z CZT, elektřina (vytápění vzduchotechnikou)

Chlazení	0,028	MW	39,597	GJ/r	elektrina
Větrání		MW	0	GJ/r	-
Příprava TV	0,05	MW	109,513	GJ/r	teplo z CZT
Osvětlení	0,028	MW	230,249	GJ/r	elektrina
Technologie	0,04	MW	488,037	GJ/r	elektrina
Ostatní		MW	0	GJ/r	-
Celkem	0,356	MW	1807,16	GJ/r	teplo z CZT, elektrina

3. Část - Doporučená varianta navrhovaných opatření

1. Popis doporučených opatření

Zateplení střechy 100 mm EPS. Hodnoty potřeb a nákladů na energie vychází z hodnot vypočtených softwarem Energie.

2. Úspory energie a nákladů

Spotřeba a náklady na energii - celkem

	Stávající stav		Navrhovaný stav		Úspory	
Energie	2369,862	GJ/r	2097,167	GJ/r	272,695	GJ/r
Náklady	1196,70	tis. Kč/r	1057,26	tis. Kč/r	139,44	tis. Kč/r

Spotřeba energie

	Stávající stav		Navrhovaný stav		Úspory	
Vytápění	1232,4	GJ/r	959,7	GJ/r	272,7	GJ/r
Chlazení	51,9	GJ/r	51,9	GJ/r	0	GJ/r
Větrání	0	GJ/r	0	GJ/r	0	GJ/r
Příprava TV	143,6	GJ/r	143,6	GJ/r	0	GJ/r
Osvětlení	301,9	GJ/r	301,9	GJ/r	0	GJ/r
Technologie	640	GJ/r	640	GJ/r	0	GJ/r
Ostatní	0	GJ/r	0	GJ/r	0	GJ/r

3. Ekonomické hodnocení

doba hodnocení	20	roků	diskontní míra	2	%
reálná doba návratnosti	11	roků	investiční náklady	1516800	tis.Kč
prostá doba návratnosti	10	roků	cash flow	139442	tis.Kč/r
IRR	9	%	NPV	1487632	tis.Kč
rok realizace	2015				

4. Ekologické hodnocení

Znečišťující látky	Stávající stav		Navrhovaný stav		Efekt	
	lokálně	globálně	lokálně	globálně	lokálně	globálně
Tuhé látky	- t/r	0,001 51 t/r	- t/r	0,001 34 t/r	- t/r	0,00017 t/r
SO ₂	- t/r	0,001 34 t/r	- t/r	0,001 18 t/r	- t/r	0,00016 t/r

NO _x	-	t/r	0,229 35	t/r	-	t/r	0,202 96	t/r	-	t/r	0,02639	t/r
CO	-	t/r	0,018 84	t/r	-	t/r	0,016 68	t/r	-	t/r	0,00216	t/r
CO ₂	-	t/r	131,6	t/r	-	t/r	116,5	t/r	-	t/r	15,15	t/r

4. Část - Údaje o energetickém specialistovi

1. Jméno a příjmení	Titul
Tomáš Příborský	Bc.
2. Číslo oprávnění	3. Datum vydání
-	-
4. Datum posledního průběžného vzdělávání	
-	
5. Podpis	6. Datum
	11. 1. 2015

2.3 Experimentální posouzení budovy

Bylo provedeno posouzení řešené budovy pomocí termokamery. Účelem měření bylo posouzení konstrukcí z hlediska omezení tepelných ztrát objektu posouzení možnosti stanovení povrchových teplot.

2.3.1 Podmínky měření:


Místo měření: budova NEPA, s. r. o., Purkyňova 2740/45, Brno, 612 00

Návrhová vnitřní teplota: 20°C

Teplota v exteriéru při měření: -3°C

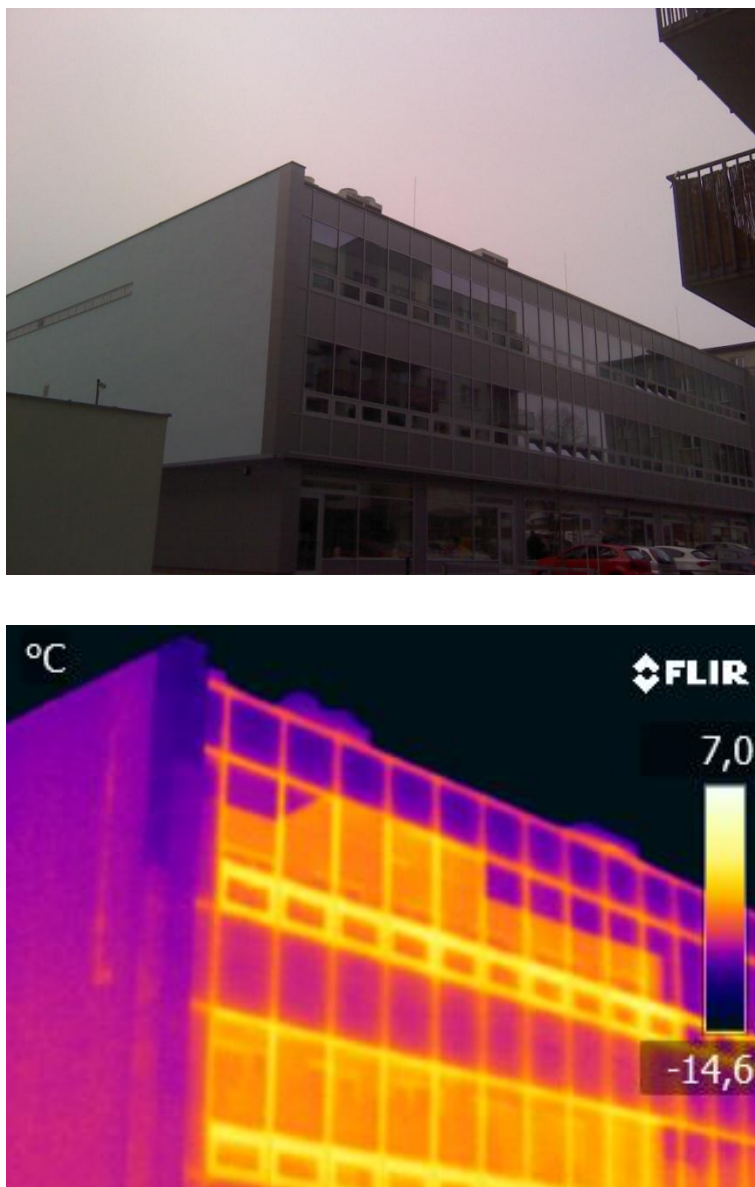
Použité zařízení: Termokamera FLIR E50

Tabulka č. 2.18 - Specifikace termokamery FLIR E50 (24)

Model Number FLIR E50	
	
Imaging	
IR Resolution	240 × 180 pixels
MSX Resolution	320 × 240
Thermal Sensitivity	< 0.05°C
Accuracy	±2°C or ±2% of reading
Temperature Range	-4°F to 1,202°F
	(-20°C to 650°C)
Video Camera w/Lamp	3.1 MP
Lens Options	Standard: 25°; Optional: 15° Tele, 45° Wide

Zoom	4× Continuous Digital
Focus	Manual
Uncooled Microbolometer	x
Color LCD Touch Screen	3.5" (320 x 240)
Multi Spectral Dynamic Imaging (MSX)	IR image with enhanced detail presentation
Picture-in-Picture	Scalable
Fusion	N/A
Laser Spot	x
Video Out	Composite
Frame Rate	60 Hz
Analysis	
Moveable Spots‡	3
Box Areas	3
Delta T‡	x
Annotation	
Voice	x
Text	x
File Storage	
Radiometric JPG to SD Card	x
MPEG4 Video Recording	x
Other	
Wi-Fi to Apple and Andriod Mobile Devices	x
MeterLink	x
InstantReport	N/A
FLIR Tools	x
Battery Type / Op Time	Li Ion, 4 hours operating time
Dual-bay Charger and Spare Battery	Optional
Weight	0.825 kg (1.82 lbs)

2.3.2 Výsledky a vyhodnocení měření



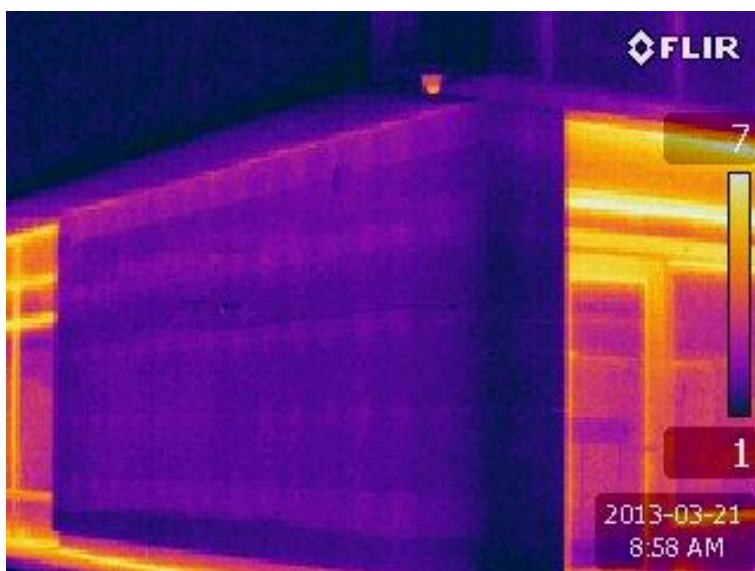
Obrázek 20 - Vyhodnocení termosnímku 1

Snímek severní strany budovy. Teplotní pole je ovlivněno odrazem záření vedlejší budovy v lesklém povrchu oken. Snímky proto nejsou vhodné pro stanovení povrchových teplot. I tak jsou zde zřetelné tepelné ztráty rámy oken.



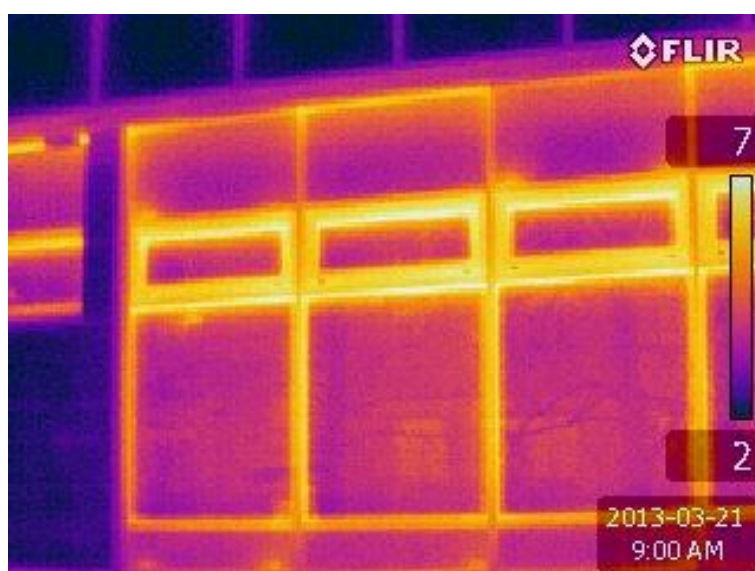
Obrázek 21 - Vyhodnocení termosnímků 2

Snímek východní stěny budovy. Provedení kontaktního zateplovacího systému je dobré.



Obrázek 22 - Vyhodnocení termosnímku 3

Snímek přízemní stěny východní strany budovy. Také zde jsou zřetelné tepelné ztráty rámy oken. Provedení zateplení systémem ALUCOBOND je dobré, jsou ale zřetelné ztráty na styku se zemí.



Obrázek 23 - Vyhodnocení termosnímků 4

Snímek přízemní části severní strany budovy. Opět zde jsou zřetelné tepelné ztráty rámy oken.



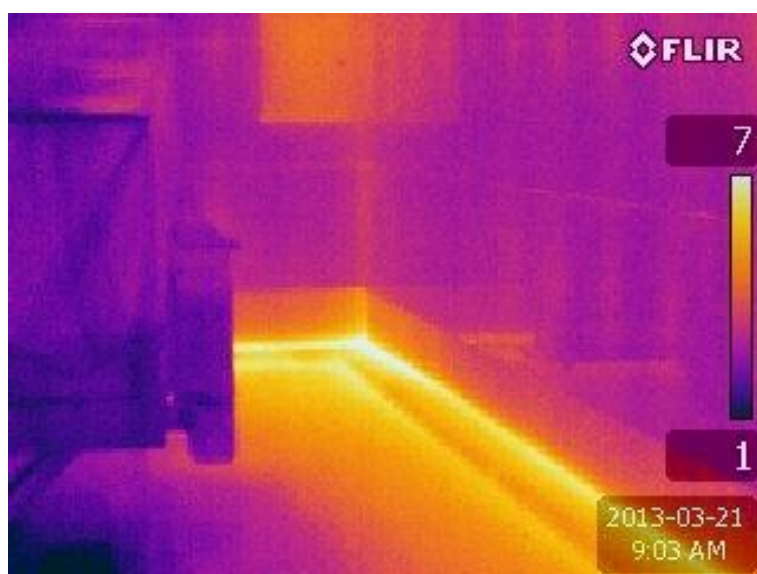
Obrázek 24 - Vyhodnocení termosnímku 5

Snímek jižní strany budovy. Také zde jsou zřetelné tepelné ztráty rámy oken. Provedení zateplení systémem ALUCOBOND je dobré, i zde se jeví zřetelné ztráty na styku se zemí a ztráty na styku zateplovacího systému a výplní otvorů.



Obrázek 25 - Vyhodnocení termosnímků 6

Detailnější snímek jižní strany budovy. I tady jsou zřetelné tepelné ztráty rámy oken. Zde jsou navíc patrné ztráty na styku zateplovacího systému a výplní otvorů.



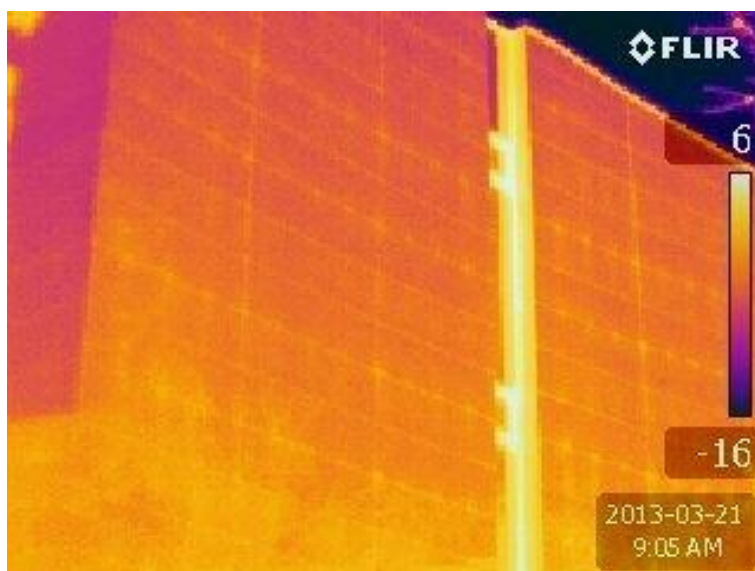
Obrázek 26 - Vyhodnocení termosnímku 7

Napojení zateplovacího systému na zem. Jsou tady opět zřetelné ztráty na styku se zemí.



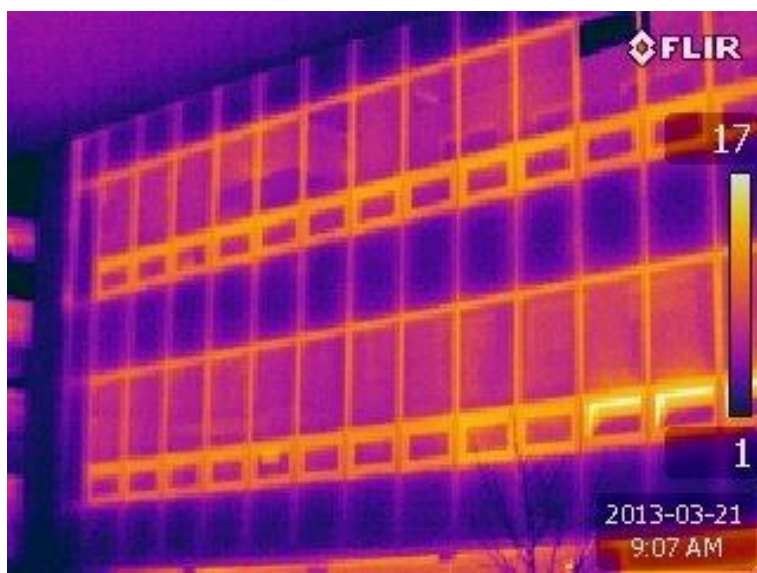
Obrázek 27 - Vyhodnocení termosnímků 8

Prosklení schodišťové části. Opět jsou zde zřetelné tepelné ztráty rámy oken.



Obrázek 28 - Vyhodnocení termosnímku 9

Západní stěna schodišťové části. Provedení zateplení systémem ALUCOBOND je dobré, jsou zde patrné ztráty na styku zateplení s okny.



Obrázek 29 - Vyhodnocení termosnímků 10

Snímek severní strany budovy. Opět je zřetelný odraz záření vedlejší budovy v lesklém povrchu oken. Také tady jsou zřetelné tepelné ztráty rámy oken.

2.3.3 Celkové vyhodnocení snímků

Řešená budova má značně prosklenou fasádu, výsledná teplotní pole byla značně ovlivněna odrazem tepelného záření okolních objektů. Pro účel stanovení povrchových teplot je proto tato metoda nevhodná. Snímky byly posouzeny z hlediska technického provedení budovy, zejména pro zjištění tepelných mostů a vazeb.

Provedení kontaktního zateplovacího systému i systému ALUCOBOND je dobré. Bylo by vhodné se zaměřit na napojení zateplení na výplně otvorů a napojení na zem, kde dochází k zřetelným tepelným ztrátám. Problematické jsou i hliníkové rámy oken a dalších výplní otvorů, vzhledem k tomu, že značná část obálky budovy je prosklená, tvoří také poměrně významnou tepelnou ztrátu. Bylo by vhodné použít rámy s nižším součinitelem prostupu tepla U_f , například plastové rámy.

Doporučil bych lepší vyřešení detailů napojení zateplovacích systémů na výplně otvorů a jejich opravy. Dále by bylo vhodné omezit tepelné ztráty objektu na styku se zemí.

Dalším možným řešením je výměna oken za okna s rámy s nižším součinitelem prostupu tepla U_f . Vzhledem k nedávné výměně výplní většiny otvorů je toto řešení nereálné.

Doporučená řešení je nutno před realizací posoudit zejména z ekonomického hlediska, dále je třeba zvážit vliv na pohodlí uživatelů při realizaci nebo například architektonické změny řešení.

C. TECHNICKÉ ŘEŠENÍ VYBRANÉ VARIANTY

3.1 Popis zvolené varianty

Po zvážení zejména finanční stránky navržených variant jsem vybral jako optimální variantu 1 - Zateplení střechy 100 mm EPS.

Vybraná varianta vychází z požadované hodnoty součinitele prostupu tepla pro ploché střechy $U_{N,20} = 0,24 \text{ W/m}^2\text{K}$. Ke splnění tohoto požadavku bylo navrženo zateplení stávající střešní konstrukce 100 mm EPS 200 .

Původní konstrukce má následující skladbu:

Tabulka č. 3.1 - Skladba původní střešní konstrukce

Číslo	Název	D[m]	L[W/mK]	C[J/kgK]	Ro[kg/m3]
1	Omítka vápenná	0.0150	0.8700	840.0	1600.0
2	Železobeton 2	0.2500	1.5800	1020.0	2400.0
3	Jemný písek	0.1200	1.5000	2000.0	1500.0
4	Pěnový polystyren	0.0500	0.0510	1270.0	10.0
5	Azbestocement	0.0120	0.4500	960.0	1800.0
6	IPA	0.0051	0.2100	1470.0	1280.0
7	Averbit	0.0078	0.2100	1470.0	1110.0
8	Asfaltový nátěr	0.002	0.2100	1470.0	1400.0

Pro uvažovaný $R_{si} = 0,25 \text{ m}^2\text{K/W}$, $R_{se} = 0,04 \text{ m}^2\text{K/W}$ a korekci součinitele $\Delta U_r = 0,1 \text{ W/m}^2\text{K}$ byl stanoven součinitel prostupu tepla $U = 0,783 \text{ W/m}^2\text{K}$.

Navržená skladba konstrukce je uvedena v následující tabulce:

Tabulka č. 3.2 - Skladba navržené střešní konstrukce

Číslo	Název	D[m]	L[W/mK]	C[J/kgK]
1	Omítka vápenná	0.0150	0.8700	840.0
2	Železobeton 2	0.2500	1.5800	1020.0
3	Jemný písek	0.1200	1.5000	2000.0
4	Pěnový polystyren	0.0500	0.0510	1270.0
5	Azbestocement	0.0120	0.4500	960.0
6	IPA	0.0051	0.2100	1470.0
7	Averbit	0.0039	0.2100	1470.0
8	Asfaltový nátěr	0.0020	0.2100	1470.0
9	Rigips EPS 200	0.1000	0.0340	1270.0
10	Elastobit PR S	0.0100	0.2100	1470.0

Pro uvažovaný $R_{si} = 0,25 \text{ m}^2\text{K/W}$, $R_{se} = 0,04 \text{ m}^2\text{K/W}$ a korekci součinitele $\Delta U_r = 0,02 \text{ W/m}^2\text{K}$ byl stanoven součinitel prostupu tepla $U = 0,227 \text{ W/m}^2\text{K}$.

Odhadované náklady na zateplení střechy jsou 1200 Kč/m^2 , při ploše 1264 m^2 činí celkem $1\,516\,800 \text{ Kč}$.

Úspora roční potřeby energie činí $272,695 \text{ GJ}$. To při ceně dodávaného tepla $511,35 \text{ Kč/GJ}$ činí roční finanční úsporu $139\,442 \text{ Kč}$.

3.2 Technické řešení

3.2.1 Použité materiály:

- polystyren EPS 200 kPa tl. 100 mm
- samolepící asfaltový pás modifikovaný elastomery Elastolep PR3 s vložkou z polyesterového rouna tloušťky 3 mm
- modifikovaný SBS asfaltový pás Elastobit PR S s vložkou z polyesterového rouna tloušťky 5 mm
- střešní vtoky (úprava nebo výměna stávajících)
- mechanické kotevní prvky (šrouby, hmoždinky)
- geotextilie
- kačírek frakce 16/32 mm tl. 80 mm

Asfaltové pásy jako hydroizolaci jsem vybral, protože u nich nedochází k takovým teplotním dilatacím jako u PE folií. Modifikovaný SBS pás s PES vložkou je vhodný i náročných podmínkách, jaké vznikají při náročných teplotních podmínkách plochých střech – velké rozdíly teplot v zimě a v létě, vysoké letní teploty atd.

3.2.2 Pracovní podmínky:

Veškeré práce budou provedeny osobami kvalifikovanými v daném odvětví. Pracovníci budou podrobeni instruktáži, kde také podepíší prohlášení o seznámení s danou problematikou. Veškeré stavební práce budou provedeny v souladu s platnými normami a požadavky investora. Nedodržení některé z uvedených podmínek by mělo za následek odstoupení od smlouvy ze strany investora a případně úhradu vzniklých škod investorovi.

Podklad musí být suchý, rovný (max. odchylka 5mm/2m) a zbavený prachu a nečistot. Minimální teplota pro aplikaci samolepícího pásu je 15°C. Minimální teplota pro natavování pásů je 0°C.

3.2.3 Stroje a pomůcky:

autojeřáb, natavovací agregát (propan-butanový hořák) s příslušenstvím, asfaltéřský nůž, pásno, příklepová vrtačka, aku-šroubovák, osobní ochranné pomůcky

3.2.4 Technologický postup

Veškerý materiál bude na střechu dopraven pomocí autojeřábu na paletách.

Tepelná izolace bude položena na stávající střešní konstrukci. Potřebný spád střechy je zajištěn stávající střešní konstrukcí. Podklad musí být zbavený prachu a nečistot. Izolace bude ukotvena do podkladu pomocí kotvících prvků.

Hydroizolace bude uložena na OSB deskách, aby nedošlo k poškození tepelné izolace. Po střeše budou role asf. pásů dopravovány ručně, aby tepelná izolace nebyla poškozena lehkou stavební mechanizací.

Podklad pro hydroizolaci tvoří tepelná izolace z EPS desek, z toho důvodu nelze první vrstvu hydroizolace natavovat. Proto zde použijeme samolepící asfaltový pás Elastolep PR3 tl. 3 mm vhodný k nalepení na polystyrenové desky. Pás je dodáván v rolích o šířce 1 m. Pásky se zpracovávají volnou pokládkou. Volně se pokládají na povrch dílců, ke kterým se přilepí následným plnoplošným natavením finální vrstvy krytiny. Minimální teplota ovzduší i vlastního pásu při zpracování je +15 °C. Velikost příčných a podélných spojů (překrytí) je 120 mm.

Finální vrstva bude provedena z modifikovaného SBS asfaltového pásu Elastobit PR S tl. 5 mm. Pásky se zpracovávají natavováním na předchozí vrstvu. Minimální teplota ovzduší i vlastního pásu při zpracování je 0 °C. Velikost příčných a podélných spojů je 100 mm.

Asfaltový pás bude nataven na manžetu střešního vtoku. Na prostupující konstrukce (obruba komínu, ventilační potrubí atd.) musí být asfaltový pás vyveden na svislou část konstrukce nejméně do výšky 150 mm nad nejvyšší vrstvu střešní skladby. Na hydroizolaci bude ještě přitěžovací vrstva šterku tl. 80 mm, tudíž musí být asfaltový

pás vyveden na svislou konstrukci nejméně do výšky 230 mm. Horní okraj asfaltového pásu na obvodové atice se vyvede až pod krycí plech atiky, kde se mechanicky ukotví.

Hydroizolace bude přitížena proti sání větru vrstvou kačírku frakce 16/32 mm tloušťky 80 mm uloženou na geotextilii, která slouží jako filtrační vrstva. V každém rohu střechy bude navíc položeno 9ks betonových dlaždic 400/400/40 mm. Kačírek navíc slouží jako ochrana proti UV záření. Vzduchotechnické zařízení bude také umístěno na dlaždicích.

3.2.5 Bezpečnost a ochrana zdraví

Veškeré práce budou provedeny v souladu s nařízením vlády č. 591/2006 Sb. o bližších minimálních požadavcích na bezpečnost a ochranu zdraví při práci na staveništích a č. 362/2005 Sb. o bližších požadavcích na bezpečnost a ochranu zdraví při práci na pracovištích s nebezpečím pádu z výšky nebo do hloubky.

3.2.6 Ekologie

Veškerý odpad během výstavby bude skladován dle zákona 185/2001 Sb. o odpadech a o změně některých dalších zákonů ve znění pozdějších předpisů o odpadech v přistavených kontejnerech.

Zbytky a odpad ze současné produkce asfaltových pásů neobsahují dehet a proto spadají do kategorie „ostatní odpady.“

Uložení, popřípadě likvidaci zbytků a odpadu z asfaltových pásů musí provést autorizovaná firma pro nakládání s odpady. Nesmí být ukládány do kontejnerů pro komunální a směsný odpad ani do ostatních kontejnerů pro tříděný odpad. Nesmí být likvidovány spalováním mimo spaloven k tomu určených a v žádném případě ukládány do volné krajiny.

ZÁVĚR

Úkolem této práce bylo nastínit možnosti energetického posouzení budov v souladu s platnou legislativou a stanovení energetické náročnosti budov s využitím metod energetického auditu a s použitím termokamery.

V teoretické části byly popsány jednotlivé možnosti energetického posouzení budov v souladu s aktuální i starší legislativou, stupeň energetické náročnosti SEN, stupeň tepelné náročnosti STN, energetický štítek obálky budovy, energetický průkaz budovy a průkaz energetické náročnosti budov. Dále byl rozebrán energetický audit, jeho specifikace, náležitosti, postup stanovení energetické náročnosti budov s využitím fyzikálních dějů. Další část se věnuje možnosti využití termokamery ve stavebnictví a při určování tepelných ztrát, specifikace, postup a chyby při měření termokamerou. Zběžně bylo popsáno i softwarové řešení energetické náročnosti budov a využití softwaru Energie 2010 pro stanovení energetické náročnosti budov.

V druhé části se získané poznatky uplatnili na energetickém posouzení administrativní budově firmy NEPA v Brně s využitím metod energetického auditu s návrhem a posouzením 3 variant možných úprav. Výsledné hodnocení dle vyhlášky 78/2013 Sb. je D – méně hospodárná. Vypočtená potřeba energie ze softwaru Energie 2010 na provoz budovy je 2369,862 GJ/rok. Skutečná spotřeba stanovená na základě množství dodané energie za rok 2012 činí 1807,16 GJ/rok. Rozdíl může být způsoben zejména normovými provozními parametry uvažovanými při výpočtu, které plně nereflektují skutečný provoz budovy. Průměrný součinitel prostupu tepla obálky budovy U_{em} je 0,93 W/m²K. Faktor tvaru budovy A/V je 0,29 m²/m³. Požadavkům této vyhlášky budova nevyhoví. Navržené varianty úprav budovy byly:

Varianta 1 – Zateplení střechy 100 mm EPS

Varianta 2 – Zateplení střechy 180 mm EPS

Varianta 3 – Instalace tepelných čerpadel

Varianta 4 – Návrh plynových kotlů

Z finančního hlediska se jeví jako nejvýhodnější varianta 4 – Návrh plynových kotlů jako zdroj tepla. Při nízkých vstupních nákladech dosahuje nejlepší návratnosti. V praxi je ovšem těžko realizovatelný, proto ho nelze doporučit. Varianta 3 - Instalace tepelných čerpadel má nejlepší návratnost i nejvýznamnější ekologický přínos, ovšem vstupní náklady by představovaly velkou zátěž pro investora. Proto jsem jako nejvýhodnější doporučil variantu 1 - Zateplení střechy 100 mm EPS, která dosahuje lepší návratnosti investice než varianta 2.

Dále byly vyhodnoceny snímky z termografického měření budovy. NA základě vyhodnocení snímků bych doporučil lepší vyřešení detailů napojení zateplovacích systémů na výplně otvorů a provedení jejich oprav. Dále by bylo vhodné omezit tepelné ztráty objektu na styku se zemí.

Ve třetí části bylo zpracováno technické řešení vybrané varianty 1 - Zateplení střechy 100 mm EPS.

SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ

1. Největší spotřebitelé energie na světě. *Investiční web*. [Online] [Citace: 8. 1 2015.] <http://www.investicniweb.cz/zpravy/graf-dne/2012/8/22/nejvetsi-spotrebitele-energie-na-svete/>.
2. **WETO-H2**. SVĚTOVÝ VÝHLED ENERGETICKÝCH TECHNOLOGIÍ DO ROKU 2050. [Online] [Citace: 8. 1 2015.] http://ec.europa.eu/research/energy/pdf/weto-h2_key_cz.pdf.
3. Byt CG. [Online] [Citace: 8. 1 2015.] <http://www.mv-byt.wz.cz/rady.htm>.
4. Domy, které šetří energii. *peníze.cz*. [Online] [Citace: 8. 1 2015.] <http://www.penize.cz/bydleni/29351-domy-ktere-setri-enerгии>.
5. Co je energetický štítek obálky budovy? *Suchánek, s.r.o.* [Online] [Citace: 8. 1 2015.] <http://www.petrsuchanek.cz/energetika-staveb/co-je-energeticky-stitek-obalky-budovy/>.
6. Průkaz energetické náročnosti budovy a energetický audit. *tzb info*. [Online] [Citace: 13. 1 2014.] <http://www.tzb-info.cz/energeticka-narocnost-budov/10584-prukaz-energeticke-narocnosti-budovy-a-energeticky-audit>.
7. §2 vyhlášky 78/2013 Sb. *Vyhláška 78/2013 Sb.* 2013.
8. Lea Treuová - Podklady pro studenty CT51. [Online] [Citace: 13. 1 2014.] <http://www.fce.vutbr.cz/TZB/treuova.l>.
9. *Energetická náročnost budov - Podrobnosti výpočtové metody - METODICKÁ PŘÍRUČKA*. Praha : autor neznámý, 2007.
10. Stefanův-Boltzmannův zákon. *Wikipedie*. [Online] [Citace: 29. 6 2013.] http://cs.wikipedia.org/wiki/Stefan%C5%AFv-Boltzmann%C5%AFv_z%C3%A1kon.

11. Wienův posunovací zákon. *Wikipedie*. [Online] [Citace: 29. 6 2013.] http://cs.wikipedia.org/wiki/Wien%C5%AFv_posunovac%C3%AD_z%C3%A1kon.
12. Planckův vyzařovací zákon. *Wikipedie*. [Online] [Citace: 29. 6 2013.] http://cs.wikipedia.org/wiki/Planck%C5%AFv_vyza%C5%99ovac%C3%AD_z%C3%A1kon.
13. *Termokamera*. [Online] [Citace: 29. 6 2013.] <http://www.termokamera.cz/wp-content/uploads/2013/05/Placnk.png>.
14. *Workswell*. [Online] [Citace: 29. 6 2013.] <http://www.workswell.cz/vyvoj-veda-vyzkum/>.
15. Co chceme od termokamer, aby se daly používat masově. *muni.cz*. [Online] [Citace: 29. 6 2013.] http://amper.ped.muni.cz/jenik/LW-infrared/termokamery_co_chtit.pdf.
16. Termovizní měření, snímky, termodiagnostika. *ekopoint*. [Online] [Citace: 29. 6 2013.] <http://www.ekopoint.cz/termovize/>.
17. **Šubrt, Ing. Roman.** *Využití infrakamery a bezdotykových teploměrů ve stavebnictví – chyby a omyly*. místo neznámé : Energy Consulting Service, s.r.o., 2009.
18. Snímky. *Termokamera*. [Online] [Citace: 29. 6 2013.] <http://www.termokamera.cz/snimky>.
19. Hledání míst poškozených rozvodů otopné vody. *tzb info*. [Online] [Citace: 29. 6 2013.] <http://voda.tzb-info.cz/8691-hledani-mist-poskozenych-rozvodu-otopne-vody>.
20. Novinky v termokamerách FLIR pro stavebnictví. *tzb info*. [Online] [Citace: 29. 6 2013.] <http://stavba.tzb-info.cz/stavebni-tepelna-technika/7896-novinky-v-termokamerach-flir-pro-stavebnictvi>.
21. ČSN EN ISO 50001 (01 1501) Systémy managementu hospodaření s energií – Požadavky s návodem k použití. *UMNZ*. [Online] [Citace: 9. 1 2015.]

<http://www.unmz.cz/urad/csn-en-iso-50001-01-1501-systemy-managementu-hospodareni-s-energii-pozadavky-s-navodem-k-pouziti>.

22. **Ing. Jaroslav Šafránek, CSc.** *Povedou "Průkazy energetické náročnosti budov" ke snížení spotřeby energie?*

23. Kalkulačka - Ceny energie. *Ceny energie*. [Online] [Citace: 14. 1 2015.] <http://www.cenyenergie.cz/plyn/kalkulacka/#/gas>.

24. *FLIR*. [Online] 29. 6 2013. flir.com.

SEZNAM POUŽITÝCH OBRÁZKŮ

Obrázek 1 - Ukázka štítku Stupeň energetické náročnosti SEN (3)

Obrázek 2 - Ukázka štítku Stupeň tepelné náročnosti STN (4)

Obrázek 3 - Energetický štítek obálky budovy (5)

Obrázek 4 - Vzor zařazení ukazatelů energetické náročnosti budovy (7)

Obrázek 5 - Tepelný tok z vytápěné oblasti (8)

Obrázek 6 - Tepelný odpor konstrukce (8)

Obrázek 7 - Tabulka $U_{equiv,k}$ 1 (8)

Obrázek 8 - Tabulka $U_{equiv,k}$ 2 (8)

Obrázek 9 - Tabulka $U_{equiv,k}$ 3 (8)

Obrázek 10 - Tabulka $U_{equiv,k}$ 4 (8)

Obrázek 11 - Závislosti intenzity záření na vlnové délce (13)

Obrázek 12 - Ukázka termosnímku - vnitřní roh místnosti (17)

Obrázek 13 - Termosnímek podlahového vytápění (17)

Obrázek 14 - Hledání poškozených rozvodů (18)

Obrázek 15 - Kontrola rozvaděčů (19)

Obrázek 16 - Snímání lesklých povrchů (20)

Obrázek 17 - Model systému managementu hospodaření s energií (21)

Obrázek 18 - Hodnocení energetické náročnosti budov podle vyhlášky 78/2013

Sb.

Obrázek 19 - Vyhodnocení termosnímků 1

Obrázek 20 - Vyhodnocení termosnímků 2

Obrázek 21 - Vyhodnocení termosnímků 3

Obrázek 22 - Vyhodnocení termosnímků 4

Obrázek 23 - Vyhodnocení termosnímků 5

Obrázek 24 - Vyhodnocení termosnímků 6

Obrázek 25 - Vyhodnocení termosnímků 7

Obrázek 26 - Vyhodnocení termosnímků 8

Obrázek 27 - Vyhodnocení termosnímků 9

Obrázek 28 - Vyhodnocení termosnímků 10

SEZNAM POUŽITÝCH TABULEK

Tabulka č. 1.1 - Vnitřní tepelná kapacita pro vybrané konstrukce

Tabulka č. 2.1 – Celková roční potřeba energie

Tabulka č. 2.2 - Celkové roční spotřeby tepla

Tabulka č. 2.3 - Celkové roční spotřeby elektřiny

Tabulka č. 2.4 - Skutečné spotřeby energií

Tabulka č. 2.5 - Základní technické ukazatele vlastního zdroje energie

Tabulka č. 2.6 - Roční bilance výroby z vlastního zdroje energie

Tabulka č. 2.7 - Ochlazované konstrukce na styku s exteriérem

Tabulka č. 2.8 - Ochlazované konstrukce na styku s nevytápěným prostorem

Tabulka č. 2.9 - Posouzení konstrukcí na styku s exteriérem

Tabulka č. 2.10 - Posouzení konstrukcí na styku s nevytápěným prostorem

Tabulka č. 2.11 – Celková energetická bilance

Tabulka č. 2.12 – Upravená roční energetická bilance – varianta 1

Tabulka č. 2.13 – Upravená roční energetická bilance – varianta 2

Tabulka č. 2.14 – Upravená roční energetická bilance – varianta 3

Tabulka č. 2.15 – Upravená roční energetická bilance – varianta 4

Tabulka č. 2.16 – Srovnání jednotlivých variant z finančního hlediska

Tabulka č. 2.17 – Srovnání jednotlivých variant z ekologického hlediska

Tabulka č. 2.18 - Specifikace termokamery FLIR E50

Tabulka č. 3.1 - Skladba původní střešní konstrukce

Tabulka č. 3.2 - Skladba navržené střešní konstrukce

SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK

A_k – plocha konstrukce [m^2]

$A_{s,k}$ - účinná solární sběrná plocha s určenou orientací a sklonem v posuzované klimatizované zóně z [m^2]

$A_{s,l}$ - účinná solární sběrná plocha s určenou orientací a sklonem pro sluneční tepelné zisky v přilehlých neklimatizovaných prostorech l [m^2]

b_u – redukční činitel teploty zahrnující rozdíl mezi teplotou nevytápěného prostoru a teplotou venkovního prostředí

b - Wienova konstanta ($b = 2898 \mu m \cdot K$)

c - rychlost světla ve vakuu ($c = 299\,792\,458 \text{ m/s}$)

c_a - měrná tepelná kapacita vzduchu [$kJ/(kg \cdot K)$]

c_w - měrná tepelná kapacita vody [$kJ/(kg \cdot K)$]

CEVP - celková energeticky vztažná plocha

ČR – Česká republika

ČSN – Česká státní norma

d_j - tloušťka vrstvy v konstrukci [m]

e_k – korekční součinitel zahrnující klimatické vlivy (obvykle = 1)

EPS – polystyren expandovaný

η – účinnost systému [-]

f_{g1} – korekční činitel zahrnující vliv ročního kolísání venkovní teploty ($f_{g1} = 1,45$)

f_{g2} – korekční činitel zahrnující rozdíl mezi průměrnou roční teplotou $\theta_{m,e}$ a návrhovou vnější teplotou θ_e

f_{vent} - opravný součinitel pro případ, že výměna vzduchu konstrukcí i probíhá jen, pokud je budova užívána [-]

$F_{s,o,k}$ - korekční činitel stínění účinné sol. sběrné plochy od vnějších překážek [-]

$F_{s,o,l}$ - korekční činitel stínění účinné solární sběrné plochy od vnějších překážek pro sluneční tepelné zisky v přilehlých neklimatizovaných prostorech l [-]

G_w – korekční činitel zahrnující vliv hladiny podzemní vody

$H_{V,i}$ - měrný tepelný tok větráním konstrukcí i k přilehlému prostoru(ům), prostředí nebo zóně(ám) s teplotou $\theta_{s,i}$ [W/K]

$H_{T,i}$ - měrný tepelný tok prostupem tepla konstrukcí i přilehlé k prostoru(ům), prostředí nebo zóně(ám) s teplotou $\theta_{e,i}$, [W/K]

$H_{T,iue}$ – měrná tepelná ztráta z vytápěného prostoru do venkovního prostředí přes nevytápěný prostor [W/K]

$H_{T,ig}$ – měrná tepelná ztráta z vytápěného prostoru do zeminy [W/K]

$H_{T,ij}$ – měrná tepelná ztráta z vytápěného prostoru do vedlejších vytápěných prostor s výrazně odlišnou teplotou [W/K]

h - redukovaná Planckova konstanta

IC – identifikační číslo

$I_{s,k}$ - celková dopadající energie slunečního záření během výpočtového období na m^2 sběrné plochy k , s danou orientací a sklonem [MJ/m²]

k - Boltzmannova konstanta ($k = 1,380\,6488 \cdot 10^{-23} \text{ J} \cdot \text{K}^{-1}$)

λ_j - výpočtová tepelná vodivost materiálu z tabulek normy ČSN 73 0540 nebo z podkladů výrobce [W/m·K]

λ_{\max} - vlnová délka maxima vyzařování [μm]

NP – nadzemní patro

OSN – Organizace spojených národů

Q_{fuel} - celková dodaná energie na systémové hranici budovy [GJ/rok]

$Q_{f,H,c}$ - roční dodaná energie na vytápění pro každý energonositel c [GJ/rok]

$Q_{f,C,c}$ - roční dodaná energie na chlazení pro každý energonositel c [GJ/rok]

$Q_{f,RH,c}$ - roční dodaná energie na zvlhčování pro každý energonositel c [GJ/rok]

$Q_{f,W,c}$ - roční dodaná energie na přípravu teplé vody energonositele c [GJ/rok]

$Q_{\text{fuel},A}$ - roční dodaná pomocná energie [GJ/rok]

$Q_{\text{fuel},L}$ - roční dodaná energie na osvětlení [GJ/rok]

$Q_{\text{PV},E}$ - roční výroba elektřiny z fotovoltaických článků [GJ/rok]

$Q_{\text{CHP},E}$ - roční množství vyrobené elektřiny z KVET [GJ/rok]

Q_T - celkový tepelný tok prostupem tepla [GJ]

Q_V - celkový tepelný tok větráním [GJ]

Q_G - celkové tepelné zisky [GJ]

Q_i - součet vnitřních tepelných zisků za dané výpočtové období [GJ]

Q_S - součet slunečních tepelných zisků za dané výpočtové období [GJ]

$Q_{\text{Aux},H}$ - potřeba pomocné energie na vytápění [GJ]

$Q_{\text{Aux},C}$ - spotřeba pomocné energie na chlazení [GJ]

$Q_{\text{Aux},DHW}$ - spotřeba pomocné energie na přípravu teplé vody [GJ]

$Q_{\text{Aux},Fans}$ - spotřeba pomocné energie na mechanické větrání [GJ]

Q_{sol} – energetická produkce solárních systémů [GJ]

$\theta_{DHW,h}$ - teplota teplé vody [°C]

$\theta_{DHW,c}$ - teplota studené vody [°C]

θ_i - vnitřní výpočtová teplota v budově nebo v zóně budovy, [°C]

$\theta_{e,i}$ - teplota přilehlého prostoru, prostředí nebo zóny ke konstrukci i, [°C]

θ_u – teplota nevytápěného prostoru [°C]

Φ_i - součet všech průměrných tepelných výkonů z vnitřních tep. zdrojů [W]

$\Phi_{OCC,mean}$ - průměrný tepelný výkon od osob [W]

$\Phi_{A,mean}$ - průměrný tepelný výkon od spotřebičů [W]

$\Phi_{L,mean}$ - průměrný tepelný výkon od osvětlení [W]

Φ_{LI} - průměrný příkon elektřiny na osvětlení [W]

ω - úhlová frekvence záření [s⁻¹]

P – ochlazovaný obvod podlahové desky [m]

R_T - tepelný odpor konstrukce [m²·K/W]

R_j - tepelný odpor jednotlivých vrstev [m²·K/W]

R_{si} - tepelný odpor při přestupu tepla z vnitřního prostředí do konstrukce [m²·K/W]

R_{se} - tepelný odpor při přestupu tepla z konstrukce do vnějšího prostředí [m²·K/W]

ρ_a - hustota vzduchu [kg/m³]

ρ_w - hustota vody [kg/m³]

SEN – stupeň energetické náročnosti

STN - stupeň tepelné náročnosti

σ - Stefanova-Boltzmannova konstanta ($\sigma = 5,670400 \cdot 10^{-8} \text{ W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-4}$)

T – termodynamická teplota [K]

t – doba trvání výpočtového období [Gs]

toe – tuna ropného ekvivalentu

TV – teplá voda

U_x – součinitel prostupu tepla [$\text{W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$]

U_{kc} – součinitel prostupu tepla dané konstrukce se zahrnutím vlivu mostů
[$\text{W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$]

ΔU_{tbm} – korekce součinitele prostupu tepla dle ČSN

$V_{v,i}$ - objemový tok vzduchu do prostoru [m^3/s]

V_{DHW} - roční spotřeba teplé vody [m^3/rok], výpočet dle příslušných tech. norem

SEZNAM PŘÍLOH

Příloha 1 – Skladby a posouzení konstrukcí – stávající stav (výstup z Teplo 2010)

Příloha 2 – Energetická bilance budovy – stávající stav (výstup z Energie 2010)

Příloha 3 – Energetická bilance budovy – referenční budova (výstup z Energie 2010)

Příloha 4 – Skladby a posouzení navrhovaných konstrukcí (výstup z Teplo 2010)

Příloha 5 – Energetická bilance budovy – varianta 1 (výstup z Energie 2010)

Příloha 6 – Energetická bilance budovy – varianta 2 (výstup z Energie 2010)

Příloha 7 – Prohlášení o shodě

Příloha 8 - Metadata